



Evaluación del comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas. Tubará, Atlántico.

Claudia Andrea Carvajal Tatis

Universidad de la Costa
Facultad de Ciencias Ambientales
Ingeniería Ambiental
Barranquilla, Colombia
2016

Evaluación del comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas. Tubará, Atlántico.

Claudia Andrea Carvajal Tatis

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Ambiental

Directora:

Esp. Wendy Beatriz Morgado Gamero

Codirectora:

M.Sc. Margarita del Pilar Castillo Ramírez

Universidad de la Costa

Facultad de Ciencias Ambientales

Ingeniería Ambiental

Barranquilla, Colombia

2016



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO
UNIVERSIDAD DE LA COSTA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

ACTA N°: 16
DE SUSTENTACIÓN DE PROYECTO DE GRADO

En la Universidad de la Costa, CUC, siendo las 10:00 am. horas, del día 19 de Mayo del año 2016 en cumplimiento de lo señalado en el Acuerdo 237, se presentó el(los) estudiante(s):
CLAUDIA ANDREA CARVAJAL TATIS

Con el fin de sustentar el proyecto de grado titulado:

**EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE AEROBACTERIAS EN EL
CORREGIMIENTO DE CUATRO BOCAS. TUBARA , ATLANTICO**

Ante el comité evaluador, integrado por:

Asesor: **WENDY MORGADO GAMERO**

Coasesor : **MARGARITA CASTILLO RAMIREZ**

Firma del(los)
interesado(s)

Evaluador: **DAYANA AGUDELO CASTAÑEDA**

Evaluador: **ELIZABETH ZULETA BOLAÑO**

Claudia Carvajal

Concluida la presentación y la defensa oral, el comité evaluador dictaminó otorgarle una calificación de* 4,72

El Director de Programa le hizo saber al sustentante el resultado obtenido

[Signature]

Nombre de Asesor

[Signature]

Nombre de Coasesor

[Signature]

Nombre de evaluador

[Signature]

Nombre de evaluador

[Signature]

Director de Programa

*Opciones de calificación: cinco, cuatro, tres, no aprobada, incompleto

Dedicatoria

A Dios por ser el guía de mi vida. ¡Todo es posible para el que cree! Mateo 9:23

Agradecimientos

A mi padre, mi madre y mi abuela por su amor, enseñanzas y apoyo incondicional durante todo mi proceso de aprendizaje.

A la Esp. Wendy Beatriz Morgado Gamero y a la M.Sc. Margarita Castillo Ramírez, Directora y Codirectora Del Proyecto de Grado, al M.Sc Alexander Parody y al M.Sc Juan José Carrascal Sánchez, por su respaldo, dedicación y paciencia durante el desarrollo del mismo.

A Erika Arbeláez por su respaldo, disposición y entrega en todo el proceso investigativo del proyecto.

A la Universidad de la Costa por haberme permitido ser parte de ella y brindarme las herramientas para un desarrollo profesional integral, así como también a sus docentes, por sus enseñanzas y soporte académico.

A mis compañeros y amigos, que con su compañerismo y apoyo moral aportaron a mis ganas de avanzar en la carrera profesional.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	13
1. Introducción.....	16
1.1. Planteamiento del problema.....	18
1.2. Justificación	20
2. Objetivos.....	22
2.1. Objetivo general.....	22
2.2. Objetivos específicos	22
3. Marco referencial	23
3.1. Antecedentes	23
3.2. Marco teórico.....	27
3.2.1. La aerobiología	27
3.2.2. Los Bioaerosoles y su dinámica con la Atmósfera	29
3.2.3. Las Aerobacterias	31
3.2.4. Inmisión de aerobacterias y los efectos a la salud	38
3.2.5. Influencia de las condiciones meteorológicas en el comportamiento aerodinámico de las aerobacterias.....	42
3.2.6. Monitoreo ambiental de aerobacterias	49
3.3. Marco Normativo.....	50
3.3.1. Normas internacionales sobre bioaerosoles	50
3.3.2. Normas nacionales sobre bioaerosoles	53
4. Metodología.....	56
4.1. Área de estudio	56
4.2. Cuantificación de aerobacterias	57
4.2.1. Equipos y materiales	57
4.2.2. Preparación del Material para la toma de muestras.....	60
4.2.3. Toma de muestras.....	60
4.2.4. Monitoreo en Campo.....	61
4.2.5. Cuantificación e identificación del material.....	62
4.2.6. Determinación de la concentración de aerobacterias	63
4.3. Influencia de las condiciones meteorológicas en el comportamiento de aerobacterias	63
4.3.1. Condiciones meteorológicas	63

4.3.2. Análisis e interpretación de datos	65
4.4. Distribución espacio-temporal de aerobacterias	66
5. Resultados y discusión.....	66
5.1. Concentración de aerobacterias	66
5.2. Clasificación de aerobacterias	70
5.3. Análisis estadístico de los datos.....	77
5.4. Distribución espacio-temporal de aerobacterias	85
6. Conclusiones.....	88
7. Recomendaciones.....	89
8. Bibliografía.....	91
9. Anexos.....	99

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Esquema comparativo de las paredes celulares de Gram	34
Figura 2: Ubicación de la zona de estudio	56
Figura 3: Equipo de Impactación por cascada. Termo Fisher Scientific Andersen	57
Figura 4: Tamaños de partículas aceptables por el equipo de impactación por cascada mediante la simulación del sistema respiratorio humano	58
Figura 5: Estaciones del Monitoreo ubicadas en el relleno sanitario	61
Figura 6: Régimen mensual de lluvias en el Departamento del Atlántico. Estación Meteorológica Ernesto Cortisso	63
Figura 7: Condiciones meteorológicas en el Departamento del Atlántico 2015	63
Figura 8: Clasificación climática Caldas-Lang en el departamento del Atlántico.	64
Figura 8: Distribución porcentual de la concentración de aerobacterias por campaña y jornada	67
Figura 9: Distribución de la concentración de bioaerosoles por etapas del impactador	68
Figura 10: Especie predominante de aerobacterias. Estreptococos	70
Figura 11: Distribución por campaña de los porcentajes de aerobacterias según su Gram	71
Figura 12: Distribución por campaña de la concentración de aerobacterias gran positivas y gran negativas	72
Figura 13: Distribución de la concentración de aerobacterias (según su morfología) por cada etapa del impactador	74
Figura: 14. Concentración por campaña. Modelo de regresión lineal. ANOVA	78
Figura 15: Concentración de aerobacterias en relación a las condiciones meteorológicas.	79
Figura 16: Concentración de aerobacterias en relación a las a las estaciones y la dirección del viento	81
Figura 17: Distribución espacio-temporal de aerobacterias por jornada. Campañas 1-4. S1: Finca #1 S2: Finca #2	86
Figura 18: Distribución espacio-temporal de aerobacterias por jornada. Campañas 5-8. S1: Finca #1 S2: Finca #2	87

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Fuentes y lugares de amplificación de bioaerosoles	28
Tabla 2: Propiedades de las endotoxinas y exotoxinas bacteriana	32
Tabla 3: Regiones del sistema respiratorio donde pueden penetrar los microorganismos..	38
Tabla 4: Enfermedades bacterianas transmitidas por el aire	39
Tabla 5: Coordenadas de las estaciones (S) de muestreo	42
Tabla 6: Concentración de aerobacterias.....	61
Tabla 8: Concentración de aerobacterias (según su forma) en UFC/m ³ de las distintas	71
Tabla 9. Análisis de Varianza para UFC/m ³	78
Tabla 10. Suma de Cuadrados Tipo III.....	78

Glosario

Aerosoles: partículas líquidas o sólidas suspendidas en el aire dentro de núcleos de vapor de agua.

Aire: mezcla de gases cuya composición en peso es: 75.51% de nitrógeno, 23.14% de oxígeno, 1.27% de argón, 0.04 % anhídrido de carbónico.

Agar: gel coloidal formado por hidratos de carbono, que forma parte de la composición de un medio de cultivo.

Bioaerosoles: partículas transportadas por el aire, constituidos por moléculas de gran tamaño de origen biológico.

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambientales.

Colonia: agrupación de bacterias formada a partir de la reproducción de una Unidad Formadora de Colonia (UFC) sobre un medio sólido; aunque varía de tamaño; generalmente es visible a simple vista.

Contaminación: es la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía generadas por actividad humana o la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora, la fauna y degradar la calidad del medio ambiente.

Contaminación Atmosférica: es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

Contaminantes: fenómenos físicos, sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

Emisión: descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.

Endotoxinas: sustancias compuestas por lipopolisacáridos de la envoltura celular. Comunes en casi todas las bacterias Gram negativas.

Exotoxinas: sustancias producidas y liberadas por bacterias viables; no requieren la muerte bacteriana para su liberación. Asociadas con mayor frecuencia a las bacterias Gram positivas.

Exposición: Frecuencia con la que las personas o la estructura entran en contacto con los factores de riesgo. Para calcularla se puede considerar el tiempo promedio diario en horas de exposición o el tiempo semanal acumulado.

Fuente de emisión: actividad de emisión situada en un lugar determinado, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Impactador de cascada: es un equipo empleado para la medición de la concentración y distribución de tamaños de partículas de microorganismos en el aire.

Infección respiratoria aguda (IRA): conjunto de infecciones del aparato respiratorio causadas por microorganismos virales, bacterianos y otros, con un período inferior a 15 días, con la presencia de uno o más síntomas.

Inmisión: transferencia de contaminantes de la atmósfera a un “receptor”. Se entiende por inmisión a la acción opuesta a la emisión. Aire inmiscible es el aire respirable a nivel de la troposfera.

Medio de cultivo: solución acuosa que se solidifica y contiene diversos nutrientes, para facilitar el crecimiento de microorganismos.

Microorganismo: organismo microscópico consistente en una célula o grupo de células.

Microorganismo patógeno: microorganismo que posee factores de virulencia (toxinas, adhesinas, cápsula) que le facilitan colonizar, proliferar o producir enfermedad.

Monitoreo: proceso que consiste en una serie de actividades que apuntan a medir el cambio en los recursos de manera consistente.

NTP: Nota técnica de prevención.

OMS: Organización Mundial de la salud.

Peptidoglicano: molécula polisacárida formada por la repetición de unidades alternativas de acetilglucosamina y ácido acetilmurámico, que forma capas adyacentes que se unen a través de puentes peptídicos.

Riesgo biológico: son los agentes y materiales potencialmente transmisibles para los humanos, animales y otras formas de vida como bacterias, hongos y virus.

Troposfera: primera capa de la atmósfera, en la cual ocurren todos los procesos atmosféricos responsables del clima.

Unidades formadoras de colonia (UFC): crecimiento de un microorganismo, sobre un medio de cultivo que se puede visualizar macroscópicamente

Unidades formadoras de colonia por metro cubico (UFC/m³): parámetro para expresar la contaminación biológica resultado de relacionar las UFC con el caudal de succión del equipo muestreador microbiológico del aire.

Viabilidad de aparición: se establece como la posibilidad de que un microorganismo se cultive en el laboratorio, después de que se ha muestreado.

Resumen

La exposición a bioaerosoles puede perjudicar la salud humana, por causar enfermedades **alérgicas, infecciosas y respiratorias agudas**. En Colombia no existen normas que regulen la exposición a bioaerosol ya que existen escasos estudios técnicos relacionados con la generación y el comportamiento de biocontaminantes en el aire. En la presente investigación se evaluó el comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas. Tubará, Atlántico, para este propósito se realizaron ocho (8) campañas de monitoreo durante dos jornadas, matutina y vespertina ubicándose dos (2) estaciones de monitoreo en el corregimiento de Cuatro Bocas, localizado en las inmediaciones de un relleno sanitario. Las aerobacterias fueron colectadas sobre el agar Standard Plate Count mediante un impactador de cascada Andersen Thermo Scientific de 6 etapas, operando a 28,3 l/min durante 5 min y ubicado a 1,5 m de altura; las condiciones meteorológicas de cada campaña de monitoreo se tomaron mediante un anemómetro Kestrel Modelo 4500 ubicado a favor de la dirección del viento y a la misma altura del impactador. Al finalizar cada campaña se incubaron las bacterias recolectadas a 28°C durante 48 horas y se realizó la cuantificación de las mismas. La concentración máxima de aerobacterias reportadas en la jornada de la mañana se obtuvo en la estación ubicada en la Finca #2 (866,902 UFC/m³) mientras que la menor concentración se registró durante la tarde en la Finca #1 (75,382 UFC/m³). Así mismo, se observó durante las diferentes campañas realizadas, una concentración elevada de aerobacterias Gram positivas con respecto a las Gram negativas, con altos registros en horas de la mañana. Se evidenció presencia de estreptococos y bacilos en las 6 cavidades del sistema respiratorio consideradas en todas las campañas de monitoreo, se destacan las máximas concentraciones de estreptococos (1081 UFC/m³) y de bacilos (346 UFC/m³) en los alveolos. Se empleó un modelo de regresión lineal mediante ANOVA que arrojó que las variables meteorológicas fueron estadísticamente significativas ($p=0,00$); sin embargo, sólo explicaron el **6,60%** de la variabilidad presentada por la concentración, lo cual evidenció que la interacción entre las variables no fue suficiente para mostrar un modelo de predicción de crecimiento bacteriano en el corregimiento. De acuerdo a los resultados obtenidos, y los datos de velocidad y dirección del viento, existe una probabilidad de que las emisiones de aerobacterias generadas en el relleno sanitario afecten zonas aledañas; sin

embargo, se deben realizar estudios de correlación epidemiológica para poder confirmar los riesgos sanitarios a los cuales se encuentran expuestos los habitantes del corregimiento.

Palabras claves

Aerobacterias, condiciones meteorológicas, enfermedades respiratorias agudas, impactador de cascada, ambientes outdoor.

Abstract

Exposure to bioaerosols can harm human health, to cause acute allergic, infectious and respiratory diseases. In Colombia there are no rules governing bioaerosol exposure because there are few technical studies related to the generation and behavior of biofouling in the air. In this research the behavior of airborne bacteria in the village of Cuatro Bocas, Tubará, Atlantic, was evaluated; for this purpose were made eight (8) monitoring campaigns for two working days, morning and evening placing two (2) monitoring stations in the district of Cuatro Bocas, located in the vicinity of a landfill. The airborne bacteria were collected on Plate Count Standard Agar through an Andersen cascade impactor Thermo Scientific of 6 stages, operating at 28.3 L / min for 5 min and located 1.5 m; weather conditions of each monitoring campaign were taken by an anemometer Kestrel Model 4500 located pro wind direction and at the same height of the impactor. At the end of each campaign bacteria were incubated at 28 ° C for 48 hours and then, the quantification was performed. The maximum concentration of airborne bacteria reported in the morning was obtained in the station located at Farm #2 (866.902 CFU / m³) while the lowest concentration was recorded during the afternoon at Farm #1 (75.382 CFU / m³). Likewise, it was observed during the different campaigns, a high concentration of Gram-positive bacteria with respect to Gram-negative, with high records in the morning. Streptococcus and bacilli was evidenced in the 6 cavities of the respiratory system considered in all monitoring campaigns, the maximum concentrations of streptococci (1081 CFU / m³) and bacilli (346 CFU / m³) in the alveoli. Linear regression model was used by ANOVA, it showed that the meteorological variables were statistically significant ($p = 0.00$); however, only they accounted for 6.60% of the variability presented by the concentration, which showed that

the interaction between variables was not enough to show a predictive model of bacterial growth in the district. According to the results, and speed and wind direction, there is a probability that airborne bacteria emissions generated in the landfill affects surrounding areas; however, epidemiological correlation studies should be conducted to confirm health risks to which are exposed the inhabitants of the township.

Key words

Airborne bacteria, weather conditions, acute respiratory diseases, cascade impactor, outdoor conditions.

1. Introducción

Los estudios relacionados con el comportamiento de microorganismos en la atmósfera han permitido descubrir algunos de los factores que inciden en su liberación, transporte, deposición y resuspensión. (Pérez Trigo, M. M., s.f.). La aerobiología se ocupa del estudio de bioaerosoles, llamado así al conjunto de partículas biológicas encontradas como porciones sólidas o líquidas suspendidas en el aire; dichas partículas son componentes ubícuos del aerosol atmosférico, con rangos de tamaño muy amplios. (Rendueles, E. M., 2001) entre 0.5 y 30 μm (Olaya Escobar, D., & Perez Rojas, F., 2006).

Los bioaerosoles proceden de diferentes fuentes, como fracciones de minerales del suelo arrastradas por el viento, evaporación del aerosol marino, volcanes, fuegos forestales, meteoritos, oxidación de gases como dióxido de azufre y oxidación de vapores orgánicos emitidos por la vegetación. (Fernández, R., et al, 1992; Panther et al., 1999). Debido a las diferentes fuentes emisoras, las partículas en la atmósfera tienen distinta composición química que, a su vez, está influenciada por factores meteorológicos y topográficos (Fernández R., et al., 1992; Vélez-Pereira, et al., 2011) ya que estas partículas se encuentran en una compleja dinámica establecida entre la atmósfera, el suelo, los cuerpos de agua y el dosel que forman los diferentes tipos de vegetación, influenciada por procesos de deposición húmeda y seca, viento y corrientes de convección por mencionar algunos. (Rosas et al., 2004).

Los aerosoles biológicos pueden ser considerados un riesgo potencial para el hombre por su patogenicidad, especialmente cuando éstos encuentran una vía de entrada al organismo (Bierman, 2013), por tal motivo, determinar la exposición humana a dichos

contaminantes se ha convertido en una necesidad importante, sobre todo en zonas donde el riesgo biológico es elevado. (Lee, T. et al, 2008). Microorganismos en desarrollo pueden causar infecciones, alergias o incluso intoxicaciones al personal expuesto a ellos (Rodríguez-Pimentel R, et al., 2015; Sigsgaard et al., 1994); patógenos bacterianos afectan al tracto respiratorio superior e inferior, siendo predominantemente bacterias del tipo Gram positivas, las cuales tienen paredes celulares más gruesas y resistentes a la desecación. Las infecciones respiratorias más comunes son causadas por dos géneros de bacterias: *Streptococcus* y *Staphylococcus* (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006).

Estos microorganismo están siempre presentes en la atmósfera, aunque su número y viabilidad varíen con las condiciones propias de la localidad (Rosas et al., 2004; Camargo et al., 2011); pueden encontrarse en suspensión gracias a su pequeño tamaño y al comportamiento aerodinámico gobernado por sus propiedades físicas (forma, tamaño y densidad) y por las condiciones medioambientales (corrientes de aire, humedad, temperatura, etc.) (Sánchez-Monedero et al., 2006); su transporte estará regido principalmente por factores hidrodinámicos y cinéticos, mientras que su destino dependerá de la composición biológica específica, composición química, y los parámetros meteorológicos a los que estén expuestos (Mohr, 1997).

Para comprender la dispersión de biocontaminantes en ambientes outdoor, la presente investigación evaluó el comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas. Tubará, Atlántico; para ello se cuantificaron y analizaron las concentraciones de aerobacterias obtenidas a lo largo de 8 campañas de monitoreo en el corregimiento, a su vez, se determinó la influencia de las condiciones meteorológicas del lugar sobre las concentraciones calculadas así como la distribución espacio-temporal de las aerobacterias.

1.1.Planteamiento del problema

Una parte significativa de aerosol atmosférico es de origen biológico. Aproximadamente del 5 -10% de la masa total de partículas en suspensión es aportado por bioaerosoles. (Grinn-Gofroñ, A. et al., 2011). La variación de las concentraciones de bioaerosoles al aire libre de acuerdo con la altura atmosférica está estrechamente relacionada con los parámetros meteorológicos locales, tales como la turbulencia y la altura de mezclado. Dichas concentraciones en ambientes al aire libre (outdoor) son generalmente superiores a las encontradas en ambientes interiores (indoor). Las concentraciones correspondientes a bacterias en ambientes outdoor son generalmente más altas en el verano que en el invierno. (Lee, J. & Jo, W., 2005).

El aumento de las concentraciones de bioaerosoles puede afectar a las personas que se encuentren expuestas a estas condiciones, dado que las partículas viables pueden ingresar al organismo por inhalación, ingestión y contacto con la piel, pero la inhalación es la que da lugar a los mayores problemas para la salud. Dentro del amplio intervalo de tamaños, los bioaerosoles de mayor importancia son los que pueden ser aerotransportados por la acción del viento hasta distancias de varios kilómetros (Recer et al., 2001), y desde un punto de vista sanitario, son los que tienen un tamaño inferior a 5 μm , ya que pueden ingresar fácilmente al tracto respiratorio y alcanzar los alvéolos pulmonares, donde pueden depositarse y causar reacciones alérgicas (Stetzenbach, 2002), asma y rinitis (Beaumont, 1988), neumonitis por hipersensibilidad (Siersted & Gravesen, 1993) y otros efectos sobre la salud, incluyendo infecciones.

Una de las fuentes que aporta a la atmosfera gran cantidad de microorganismos son los residuos sólidos municipales, la mayoría son considerados como materia putrefacta, y

por lo tanto, de fácil colonización para las bacterias y hongos. (Rodríguez-Pimentel R., et al., 2015). Las actividades del relleno sanitario ubicado cerca de la población objeto de estudio puede aumentar la concentración de bioaerosoles en la atmósfera y por lo tanto causar infecciones, alergias o incluso intoxicaciones a los habitantes del corregimiento, dado que el tamaño de las partículas viables permiten su transporte por la acción del viento a distancias que pueden variar desde unos pocos metros hasta varios kilómetros. (Sánchez-Monedero, et al., 2006).

El recorrido del bioaerosol depende del comportamiento aerodinámico de la partícula, del tipo de material que la constituya y de las características especiales de cada una, mientras que las concentraciones se encuentran fuertemente influenciadas por las condiciones climáticas diarias; lo que puede indicar una relación entre las emisiones que son arrastradas desde un punto hacia las comunidades por la acción de las fuerzas eólicas (Vélez, A., et al., 2009). Los patrones climáticos además influyen en el movimiento y la dispersión de los contaminantes en la atmósfera a través de la acción de los vientos, la mezcla vertical y precipitaciones. (Grinn-Gofroñ, A., et al., 2011). Dentro de las características más relevantes de la atmósfera, que disminuyen la supervivencia de los microorganismos en ella, se destacan: la intensidad de luz, las variaciones de temperatura extremas y las bajas concentraciones de agua y de materia orgánica. Además de regir el comportamiento aerodinámico de los aerosoles biológicos, el contenido de agua, la temperatura, la radiación UV y otros factores ambientales al aire libre, determinan su estabilidad y viabilidad. (Vélez, A., & Camargo, Y., 2008).

Debido a la variabilidad del comportamiento de los bioaerosoles (EPA. 2003) se hace necesario determinar las condiciones atmosféricas del corregimiento de Cuatro Bocas y establecer si las emisiones de aerobacterias del relleno sanitario cercano inciden en la

calidad de aire del lugar. Por lo anterior se determinará: ¿Cuál es el comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas. Tubará, Atlántico?

1.2.Justificación

El aire limpio es uno de los requisitos básicos de la salud y del bienestar humano. Sin embargo, la contaminación atmosférica sigue siendo una importante amenaza para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la carga de morbilidad debida a la contaminación atmosférica realizada por la OMS, cada año se producen más de 2 millones de muertes prematuras atribuibles a los efectos de la contaminación atmosférica y algunos contaminantes del aire en exteriores. (Organización Mundial de la Salud, 2005). Según CEPIS (2005), para América Latina y el Caribe, 35.000 muertes se atribuyen a la contaminación del aire cada año, pero la cifra real puede ser más alta.

Los bioaerosoles son ubicuos, altamente variables, complejos y pueden originarse naturalmente o por la actividad del ser humano, además son responsables del 5 al 34% de la polución del aire; es allí donde existe un número importante de microorganismos y actúa como un medio para su transmisión y dispersión; el ser humano puede exponerse a estos patógenos del aire por vía oral, transcutánea e inhalación.

Los procesos llevados a cabo en los sistemas de disposición final de residuos contribuyen de forma significativa a la dispersión de microorganismos patógenos debido a la presencia de material aerotransportable viable generado desde estos sitios en forma de aerosol. Las actividades del sistema de disposición final de residuos sólidos ubicado cerca del corregimiento de Cuatro Bocas generan bioaerosoles fungis y bacterias mesofílicas aerobias, como lo indica un estudio desarrollado en 2016 por Campo, M. & González, E; los cuales pueden repercutir en la salud de los pobladores del corregimiento por la

capacidad de estos microorganismos de recorrer grandes distancias gracias a su diámetro aerodinámico. Por lo anterior se hace necesario evaluar la concentración de la inmisión de las aerobacterias encontradas en el corregimiento de Cuatro Bocas y correlacionarla con las condiciones meteorológicas del área con el fin de determinar el comportamiento de estos contaminantes en ambientes outdoor.

El estudio de los microorganismos en el aire está en desarrollo y es un campo que necesita más exploración. El número de estudios en bacterias ha sido menor debido a las limitaciones para monitorearlas, sin embargo, su número se está incrementando. (Lighthart, B., 2000; Zhu, H., 2003). Los primeros estudios se enfocaban en el transporte de bacterias en el aire; después se identificaron las condiciones climáticas que los afectan, ahora se pretenden establecer indicadores de contaminación que favorecen la proliferación y supervivencia de bioaerosoles. La importancia de su estudio se reafirma al comprender que estos microorganismos son los verdaderos responsables de las Infecciones Respiratorias Agudas (IRA). (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006).

Este estudio aportará información valiosa en la investigación local sobre contaminantes atmosféricos, además podrá emplearse como base para el desarrollo de estudios epidemiológicos que permitan reducir los posibles riesgos sobre la salud pública de los habitantes de la zona y tomar decisiones que mejoren las condiciones de higiene industrial y permitan mejorar la calidad de vida del sector.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas. Tubará, Atlántico.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de aerobacterias presentes en el corregimiento de Cuatro Bocas.
- Analizar la influencia de las condiciones meteorológicas en la concentración de aerobacterias encontradas en el lugar objeto de estudio.
- Establecer la distribución espacio-temporal de las aerobacterias presentes en los bioaerosoles del corregimiento de Cuatro Bocas.

3. Marco referencial

Los bioaerosoles son contaminantes atmosféricos de tamaño microscópico que se encuentran suspendidos en el aire, son de origen biológico y pueden afectar a los seres humanos causándoles algún tipo de alergia, intoxicación o infección (Sánchez-Monedero et al., 2006). Los microorganismos presentes en los bioaerosoles tienen gran importancia ambiental por su influencia en los procesos físicos naturales como la nucleación, el clima global y el ciclo hidrológico. (Hurtado et al., 2014) Los países con alta contaminación y humedad presentan graves problemas por biocontaminantes (bioaerosoles); temperaturas y humedades relativas altas favorecen el crecimiento de la población microbiológica contaminante (hongos, bacterias, virus) y se ve perjudicado por las variaciones de temperatura entre el día y la noche. (OMS, 2005).

En los últimos años, se ha observado una creciente preocupación por la exposición a los aerosoles microbianos (bioaerosoles) a causa de los efectos adversos relacionados con la salud. (Lee, J. & Jo, W., 2005). A continuación se muestra la síntesis de varios estudios aerobiológicos llevados a cabo nivel nacional e internacional.

3.1. Antecedentes

Rankonen et al. (1987) Registraron la presencia de bacterias entre 10 y 10^4 UFC/m³, siendo las más representativas: Coliformes totales con concentraciones entre el límite de detección y 10^3 UFC/m³ y *Streptococcus fecales*, entre el límite de detección y 10^4 UFC/m³, mientras que en rellenos sanitarios, Reinthaler et al. (1999) reportaron concentraciones de bacterias en el aire del orden de 10^5 UFC/m³ en plantas de aprovechamiento de residuos sólidos.

Pankhurst, et al. (2010) Llevaron a cabo una investigación de la concentración de bioaerosoles, especialmente bacterias totales y *Aspergillus fumigatus* emitidos desde una planta de compostaje a pequeña escala en el centro de Londres. En el estudio se siguió la metodología de la Association for Organics Recycling (AFOR) y la Environment Agency que permitió la ubicación de 6 puntos: 1 en la sala de compostaje; 1 adyacente a la salida de aire que va desde la sala de compostaje; 1 a favor del viento, fuera de la zona de parking cubierto; otro a 100 m contra el viento; 1 en el Parque de Regent y el último en el Área de maduración del Compost.. Se utilizó el Impactador Andersen de 6 etapas (Thermo Fisher Scientific, USA) y el muestreador individual de filtro inhalable (IOM multi-dust cassette assembly, SKC Ltd., UK) del Instituto de Medicina Ocupacional. Los tiempos de muestreo para el muestreador Andersen fueron de 10 y luego 5 minutos debido a la sobrecarga de la placa de agar, para la OIM fueron 30 min. En el estudio se determinó que las concentraciones más altas de *A. fumigatus* y bacterias totales se encontraron dentro de la sala de compostaje y debajo de la superficie cubierta de la zona de parking que en ubicaciones de fondo de muestreo. En las instalaciones de compostaje al aire libre concentraciones de bioaerosol bacterianas se encontraron por encima de las 10^6 CFUm⁻³, 3 órdenes de magnitud mayores que las concentraciones de la región.

Nieguitsila, A., 2010, en Borgoña una región de España se realizaron unas observaciones donde se utilizaron dos tipos de equipos The CIP 10-M (Capteur Individuel de Poussières Microbiologiques, Arelco Company, Fontenay-sous-Bois, France) es un muestreador de aerosol inhalables y el otro equipo utilizado fue The Airport MD8 sampler, gracias a dichos instrumentos se logró determinar que los hongos se recuperaron con mayor

frecuencia durante el período de muestreo de 15 semanas y pertenecían a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium* y *Scopulariopsis*.

En el 2005, Rodríguez et al., realizaron un estudio para cuantificar y determinar la dispersión de partículas aerotransportables viables, en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales ubicado en Mérida, Yucatán, México. En la investigación realizaron 2 muestreos preliminares para determinar la presencia de material aerotransportable viable y el tiempo de bombeo adecuado. Ubicaron 20 puntos de muestreo en las 4 etapas del lugar: 11 en el relleno sanitario, 2 en la laguna de lixiviados, 2 en la planta de composteo y 5 en la planta de separación; además ubicaron 2 puntos en función de la dirección del viento en el Albergue Pro-Vida para pacientes de VIH. En el estudio se tomaron muestras de aire con el equipo Andersen 1 ACFM de seis etapas modelo 10-709 durante 30 segundos en cada uno de los 20 puntos a un flujo constante de 28.3 l/min. Se encontraron los mismos organismos presentes en todos los puntos pero en cantidades distintas; la planta de composteo, los sitios del frente de trabajo y la planta de separación presentaron una mayor cantidad de material aerotransportable. La generación de material aerotransportable en la planta de composteo se consideró como la de mayor riesgo a la salud de los trabajadores, dadas las especies de *Aspergillus*, Coliformes, *Streptococcus* y *Neumococcus*. En el Albergue Pro-Vida se encontró presencia de material aerotransportable, principalmente levaduras y hongos comunes, que fueron asociados a la vegetación e incipiente desarrollo urbano en las cercanías.

Según un estudio sobre los efectos de los factores meteorológicos realizado en Estados Unidos (Jones, A. M., & Harrison, R.M., 2003) la concentración de bioaerosoles en

la atmósfera está en función de los ciclos diurnos, incrementa al amanecer, tiene su máximo al medio día, se disminuye en la tarde y en la noche se presentan las más bajas concentraciones de nueve de la noche a cinco de la mañana. Las perturbaciones de estas condiciones surgen debido a la advección del aire durante el día, resultando en aumento de la concentración y durante la noche una disminución en la concentración por el ingreso de bioaerosoles de fuentes distantes. El incremento de la estabilidad de la atmósfera puede resultar en reducción de la mezcla del aire y debido a esto se pueden presentar bajas o altas concentraciones de bioaerosoles.

En la Costa Caribe colombiana, se llevó a cabo una investigación sobre la concentración de hongos asociados a procesos en el Relleno Sanitario Palangana, Santa Marta (Vélez, A., et al., 2009), donde la máxima concentración reportada es del orden de 3×10^3 UFC/m³ identificándose diecinueve géneros, con predominancia de *Aspergillus spp.* (45%), *Penicillium spp.* (23%) y *Geotrichum spp.* (18%). La metodología implementada en la ubicación de estaciones de monitoreo y en la toma de muestras de aerosoles fungí en este estudio se fundamenta en las establecidas por la Asociación de Compostaje del Reino Unido y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos utilizadas en distintos países como referente de los grupos de investigación para la colecta y caracterización de aerosoles.

En el Departamento del Atlántico, se realizó un estudio sobre el comportamiento de bioaerosoles emitidos desde un relleno sanitario (Campo, M. & González, E., 2016). Para ello, se realizaron 6 campañas de monitoreo y una de pre-muestreo, en 4 etapas de tratamiento (celda activa, piscinas de lixiviados y 2 celdas pasivas) utilizando un

impactador de cascada Andersen Thermo Scientific de 6 etapas. En la investigación se encontró una máxima concentración de aerobacterias fue de 850.18 UFC/m³ durante la jornada de la tarde en la celda activa, mientras que para hongos, se presentó en la jornada de la mañana en la estación ubicada entre las Piscinas de lixiviados, con una concentración de 382.09 UFC/m³.

3.2. Marco teórico.

3.2.1. La aerobiología

El término Aerobiología fue definido en los años 30 por Fred C. Meier con el fin de incluir bajo esta denominación los estudios que se realizaban sobre las esporas de hongos, granos de polen y bacterias contenidos en la atmósfera. Sin embargo, recientemente, se consideró la Aerobiología como una ciencia multidisciplinaria que comprende la liberación, retención, dispersión, deposición e incidencia atmosférica de esporas, pólenes y otros microorganismos aerotransportados. Así como su diversidad, modos de vida, dependencia y, al mismo tiempo, repercusión en el entorno, se ha señalado a la Aerobiología como la ecología de la atmósfera. (Almaguer, M. et al., 2008)

La aerobiología se ocupa del estudio de los bioaerosoles, llamado así al conjunto de partículas biológicas. Generalmente son generados como partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, que tienen diferentes tamaños dentro en un rango de 0.01 – 100 µm. En relación a las bacterias se tiene información que los tamaños normalmente encontrados en los ambientes naturales se encuentran entre 0.3 y 3 µm, (Cox & Whates, 1995; Pepper & Dowd, 2009; Reponen et al., 2001).

Las fuentes más comunes de los bioaerosoles en exteriores son la agricultura y procesos en plantas de tratamiento, las plantas de reciclaje, los distritos de riego. (Olaya

Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006). Las actividades industriales también son fuentes y lugares de amplificación de la concentración. Ver Tabla 1.

Tabla 1. *Fuentes y lugares de amplificación de bioaerosoles.*

Actividad Industrial	Agente microbiano	Concentración típica
Celulosa, artículos de madera, aserraderos	Hongos	10^4 - 10^8 UFC/m ³
	Aspergillus fumigatus	10^2 - 10^5 UFC/m ³
	Penicillium sp	10^1 - 10^5 UFC/m ³
Industria alimenticia, almacenamiento, depósito	Endotoxinas	0,0125 - 54,9 µg/m ³
	Hongos	10^4 UFC/m ³
	Cladosporium herbarium	10^3 UFC/m ³
Transporte público	Hongos	10^2 - $>10^5$ UFC/m ³

Fuente: Adaptado. HURST, Christian. Manual of Environmental Microbiology. 2° Ed. P. 805

Cualquier hábitat puede ser colonizado por microorganismos, suelos, agua, fuentes termales, organismos superiores, ambientes extremos, en cuanto a condiciones físicas y químicas. Sin embargo, siempre se ha pensado que el aire es sólo un medio de dispersión microbiano, puesto que el aire no tiene las condiciones necesarias para ser un hábitat. Para que esto sea posible la atmósfera debe proporcionarles un lugar en el cual vivir, además de fuentes de alimento y energía. Los microorganismos dirigen reacciones químicas y organizan las moléculas para llevar a cabo la replicación (Crecimiento). (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006).

A lo largo de la historia se han desarrollado investigaciones enfocadas a determinar la supervivencia de microorganismos en los aerosoles, como sucedió durante la epidemia del cólera en Europa en 1847 y 1848, en donde se descubrieron “gérmenes” en el aire de los hospitales, causantes de ésta enfermedad. Se demostró la presencia en el aire de varias bacterias patógenas como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Mycobacterium*

tuberculosis, etc. y que, por tanto, a través de él, podían transmitirse enfermedades infecciosas como la escarlatina, tuberculosis, tosferina y rubéola. (Proquímicos S.A., s.f.).

Desde aquellos años, la aerobiología ha sido estudiada desde diversos aspectos pero con un fin común, establecer la concentración, tipos, y características de la microbiota presente en la atmósfera, evaluando la correlación de los microorganismos y las condiciones atmosféricas locales. (Velez-Pereira, A. et al., 2011).

3.2.2. Los Bioaerosoles y su dinámica con la Atmósfera

Los contaminantes ambientales de procedencia biológica (bioaerosoles) están constituidos por partículas, moléculas de gran tamaño, o compuestos orgánicos volátiles que están vivos o que proceden de un organismo vivo. En los bioaerosoles se pueden encontrar los microorganismos (cultivables, contables y los microorganismos muertos), y los fragmentos, toxinas y partículas producto de los desechos de todo tipo, cuyo origen es la materia viva. (NTP 409). Los diversos tipos de microorganismos presentes en la atmósfera están en función de la fuente generadora, así mismo su dispersión estará en función de las condiciones atmosféricas locales y diámetro aerodinámico, mientras que su permanencia y viabilidad dependerán, además de las condiciones locales al tipo de microorganismo. (Vélez-Pereira, A. et al., 2009).

A la atmósfera se pueden introducir una gran variedad de partículas de origen biológico, como granos de polen, esporas fúngicas, bacterias, algas, protozoarios, insectos y, ocasionalmente, virus. En general, las partículas predominan en las partes bajas de la atmósfera cerca de las fuentes locales de generación (Rosas et al., 2004). La dinámica de la atmósfera tiene importancia crucial, cuando se estudia el comportamiento de los bioaerosoles; se puede entender bajo dos perspectivas diferentes que se interrelacionan. La

primera tiene que ver con el transporte y dispersión, que obedece a los movimientos de las masas de aire, la segunda explica los mecanismos atmosféricos por los cuales se activa o inactivan los microorganismos presentes en el aire (viabilidad). (Olaya Escobar, D & Pérez Rojas, F., 2006).

La división de la atmósfera está definida por regiones determinadas por máximos y mínimos de temperatura. La atmósfera superior es un medio hostil para los microorganismos, la parte alta de la troposfera presenta temperaturas que oscilan entre - 43 y - 83 °C, estas son condiciones no tolerables. La estratosfera presenta barreras en el transporte de microorganismos vivos, desde la troposfera y se caracteriza por un lento proceso de mezcla. Los altos niveles de ozono y radiación UV hace imposible la supervivencia de los Bioaerosoles. (Atlas, R. & Bartha, R., 2002).

A la tropósfera o atmósfera baja (que comprende los primeros diez kilómetros), por su cercanía a los ecosistemas terrestres y acuáticos, llegarán las diversas partículas biológicas en sus formas esporuladas o vegetativas, por mecanismos activos o pasivos; se distribuirán vertical y horizontalmente, dependiendo de la energía disponible (viento, corrientes de convección, remolinos locales, etc.) lo que les proporcionará flotación y movimiento. (Rosas et al., 2004). Esta zona ofrece condiciones más favorables para los microorganismos. Las adaptaciones que ellos han desarrollado les han favorecido la supervivencia y dispersión a través de los movimientos del aire. La troposfera puede proporcionar hábitat temporal para los microorganismos. En las nubes hay concentraciones de agua que permiten su crecimiento. La intensidad lumínica y la concentración de dióxido de carbono de las nubes son suficientes para favorecer el crecimiento de organismos fotoautótrofos, y los núcleos de condensación (material particulado) suministran algunos nutrientes minerales. (Olaya Escobar, D & Pérez Rojas, F., 2006).

Es importante considerar que las dimensiones y la dinámica en cada capa atmosférica dependerán en parte de la orografía, del tipo de suelo y dosel del lugar; es por ello que se habla de lo contrastante entre el comportamiento de una atmósfera urbana respecto de una rural. Para el caso de las concentraciones de aerobacterias registradas durante el día se reporta: urbana> bosques> rural> zona costera. Este enriquecimiento de partículas biológicas en la zona urbana está asociado a diversas fuentes antropogénicas, pero principalmente a la contaminación del suelo aunado a la turbulencia, que facilita la introducción de partículas a la atmósfera a diferentes alturas. (Rosas et al., 2004).

3.2.3. Las Aerobacterias

Las bacterias que se encuentran en la atmosfera se les denominan aerobacterias, pues emplean este medio para su dispersión. Dentro de este grupo se encuentran las bacterias aerobias mesofílicas, las cuales crecen entre los 25 y los 40°C, la mayor de parte de ella no puede crecer más allá de los 45°C. (García V, s.f).

En condiciones naturales, las bacterias pueden encontrarse en el suelo, el agua, y las plantas, principalmente como organismos saprobios. Debido a que carecen de mecanismos activos de liberación, son introducidas a la atmósfera por procesos mecánicos, directamente por la acción del viento y la lluvia sobre el suelo, los cuerpos de agua y la superficie de las hojas, e indirectamente por la acción de las olas y la formación de burbujas sobre los sistemas acuáticos. (Rosas, et al., 2004).

Las bacterias pueden elaborar sustancias tóxicas durante su crecimiento, denominadas toxinas, dentro de las que se encuentran las exotoxinas y las endotoxinas. (Ver Tabla 2) Las exotoxinas son proteínas solubles antigénicas y de gran toxicidad que se liberan en el medio donde crecen y se multiplican; las exotoxinas son partes constituyentes

de los cuerpos bacterianos. Forman moléculas más complejas que las exotoxinas y están compuestas por poliósidos, lípidos y proteínas; son termoestables y sólo se encuentran en bacterias Gram negativas. (Anderson, M., 2005).

Tabla 2. *Propiedades de las endotoxinas y exotoxinas bacterianas.*

	Exotoxinas	Endotoxinas
Origen	Bacterias Gram positivas	Bacterias Gram negativas
Naturaleza	Proteínas solubles	Moléculas complejas
Acción de la Temperatura	Termolábiles	Termorresistentes
Poder tóxico	Muy elevado	Moderado
Poder antigénico	Muy elevado	Débil

Fuente: Anderson, M. (2005). Enfermedades de origen alimentario. P.17

Las condiciones ambientales inciden en el crecimiento y desarrollo de las poblaciones bacterianas. La temperatura es un factor influyente en la viabilidad de las bacterias, según rangos de temperatura óptima las bacterias pueden clasificarse en: termófilas, mesófilas y psicrófilas. (Miller, C. & Palenik, C., 2000)

Aerobacterias termófilas

Las Aerobacterias termófilas poseen una temperatura óptima de 56°C con un rango de 45°C a 70°C. La Bacteria termófila formadora de esporas *B-stearothermophilus*, se utilizó durante muchos años para comprobar el uso y funcionamiento de los esterilizadores por calor, debido a su resistencia al calentamiento. (Miller, C. & Palenik, C., 2000).

Aerobacterias psicrófilas

Las aerobacterias psicrófilas crecen a temperaturas entre 1°C y 22°C, con un crecimiento óptimo a la temperatura del refrigerador, 7°C. (Miller, C. & Palenik, C., 2000).

Aerobacterias mesófilas

Las Aerobacterias mesófilas crecen a temperaturas que van desde los 22°C a los 45°C, con un crecimiento óptimo a la temperatura corporal de 37°C. (Miller, C. & Palenik, C., 2000). Los sistemas de recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales son la principal fuente potencial antropogénica de emisión de aerobacterias mesófilas, emitiendo gran cantidad de enterobacterias, principalmente de origen fecal humano y animal, producto de los movimientos mecánicos que tienen lugar en los procesos de tratamiento (Vélez-Pereira et al., 2011).

Las bacterias poseen mecanismos que les permiten adaptarse en ambientes hostiles, una de las estructuras más relevantes de las bacterias es la pared celular. La principal función de la pared celular es proveer a la bacteria de una estructura mecánicamente fuerte. (García, V., s.f.) Esta estructura posee poros a través de los cuales pasa el agua y algunas sustancias químicas, aunque no es una membrana semipermeable, constituye una barrera al paso de moléculas grande como los ácidos nucleicos. (Gama, M., 2007).

Diferencias en la estructura y en la composición de la pared permiten separar a las bacterias en dos grupos: las Gram positivas y las Gram negativas. (Gama, M., 2007). Esta técnica se basa en una tinción propuesta por Christian Gram (1853-1938) en 1884 que permite teñir diferencialmente a las bacterias porque sus reactivos actúan de formas distintas. (Gama, M., 2007; García, V., s.f.).

La tinción Gram consiste en teñir el frotis, fijado al calor, con un colorante llamado cristal violeta y después de lavado con agua, tratarlo sucesivamente con una solución de lugol (yodo y yoduro de potasio), un agente decolorante como la mezcla de alcohol y cetona y, por último, un colorante de contraste como la safranina.

Fundamento de la coloración de Gram

Es probable que la diferencia entre las bacterias Gram positivas y Gram negativas se deba a la naturaleza física de sus paredes celulares. El peptidoglicano no se tiñe por sí mismo, más bien actúa como barrera de permeabilidad para evitar la pérdida de cristal violeta. Durante el proceso de coloración las bacterias se tiñen primero con cristal violeta y luego se tratan con yoduro para favorecer la retención del colorante. En la decoloración con etanol, se cree que el alcohol contrae los poros de la capa gruesa de peptidoglicano y se retiene el complejo colorante yoduro; así las bacterias adquieren color violeta. Por el contrario, la capa de peptidoglicano de las bacterias Gram negativas es muy fina, con menos enlaces y con poros de mayor tamaño. Además, es posible que el tratamiento con alcohol extraiga suficientes lípidos de la membrana externa como para aumentar su porosidad. Por estos motivos el alcohol elimina más fácilmente el complejo cristal violeta yoduro en las bacterias Gram negativas. (Pérez, M. & Mota, M., s.f.)

Bacterias Gram positivas

La pared celular de las bacterias Gram positivas se componen de 90% de peptidoglicano, posee varias capas y además cantidades menores de ácidos teicoicos. (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006, Murray et al., 2009). El grosor de la capa homogénea peptidoglicano o mureína mide de 20 a 80 nm de grosor y se encuentra situada

por fuera de la membrana celular (Pírez, M. & Mota, M., s.f.). Estas bacterias retienen el cristal violeta y su coloración se toma un tono violeta intenso. (García, V., s.f.).

Bacterias Gram negativas

La pared celular de las Gram negativas contienen solo 10 % de peptidoglicano, la mayor parte se compone de lipopolisacaridos, proteínas y principalmente fosfolípidos. (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006). Esta estructura la hace más compleja, su capa de peptidoglicano mide de 2 a 7 nm de grosor y se encuentra rodeada por una membrana externa. (Pírez, M. & Mota, M., s.f.).

Estas diferencias hace que sean más viables las bacterias Gram positivas que las Gram Negativas (Ver figura 1). La susceptibilidad de las bacterias Gram negativas se debe a los factores climáticos, puesto que la temperatura, la humedad relativa y radiación solar son factores limitantes, ya sea por exceso o por déficit inducen inactivación bacteriana, cuando esto sucede se ven afectados principalmente los fosfolípidos y proteínas. (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006).

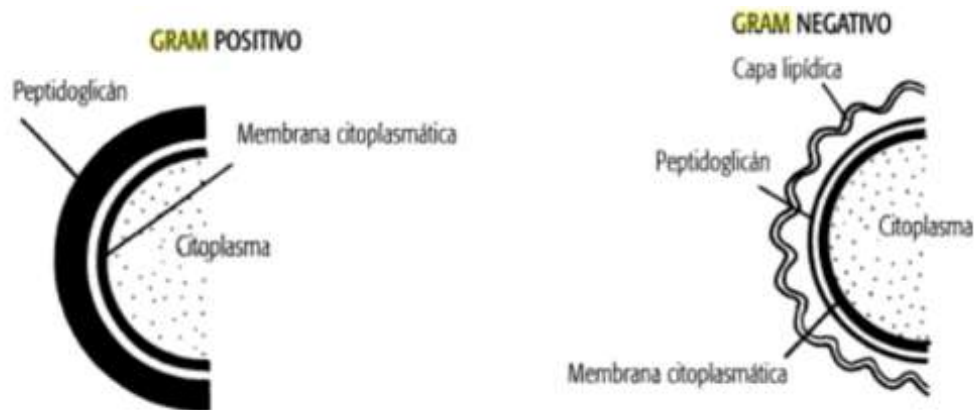


Figura 1: Esquema comparativo de las paredes celulares de Gram. **Fuente:** García, V., s. *Introducción a la Microbiología*. Editorial Universidad Estatal a Distancia, EUNED.

Las bacterias son microorganismos unicelulares que pueden ser apreciados a través del microscopio. Estos microorganismos pueden poseer diversas formas y tamaños por lo que pueden encontrarse en todo tipo de ambientes. Las bacterias pueden presentarse como elementos esféricos, alargados o helicoidales.

Cocos

Los cocos son células bacterianas cuya forma es esférica, pero pueden aparecer formas elipsoidales, o las que poseen extremo afilado con apariencia de lanza (lanceoladas). Cuando aparecen agrupaciones se organizan en formas diferentes según la especie. (Negroni, 2009). Este tipo de ordenamiento obedece a un patrón genético propio de cada especie. (Montoya, H., 2008)

Según este patrón de ordenamiento los cocos pueden ser:

- Diplococos: se observan en pares con un solo plano de división.
- Estreptococos: se observan en forma de filas, una célula bacteriana detrás de la otra en un solo plano de división. Pueden organizarse en cadenas compuestas por 5, 20, 100 elementos.
- Tétradas: también denominados tetracocos, se observan en grupos conformados, cada uno, por cuatro unidades celulares y presentan dos planos de división perpendiculares.
- Estafilococos: esta agrupación bacteriana se caracteriza por formar masas irregulares que recuerdan racimos de uvas y poseen tres planos de espacio.

El ordenamiento predominante es la característica más importante. (Montoya, H., 2008)

Bacilos

Los bacilos son formas bacterianas alargadas que pueden ser cortas, rectas o cilíndricas; cuando son muy cortas y de difícil detección se denominan cocobacilos. (Negroni, 2009; Montoya, H., 2008)).

La agrupación de los bacilos es diferente a la de los cocos, pues los bacilos no tienden a agruparse. Algunas especies de bacilos muestran tendencia de ordenamiento de sus células pero éste no obedece a un patrón genético, sino que depende de las etapas de desarrollo o de las condiciones del cultivo. En algunos casos se observan formando parejas (diplobacilos), en cadena (estreptobacilos) o en grupos irregulares que forman rosetas y masas entrecruzadas. (Montoya, H., 2008)

Los taxonomistas han empleado las formas individuales y grupales para dales un nombre determinado, por ejemplo: algunos bacilos cuyos extremos terminan en mazo se les llama corineformes porque así se presentan ciertos bacilos pertenecientes al género *Corynebacterium*. (Montoya, H., 2008; Negroni, 2009)

Helicoidales o espirales

Células bacterianas que no presentan ordenamiento específico porque se encuentran aisladas con una o varias curvaturas generalmente. Dentro de las formas bacterianas se encuentran los vibrios, los espirilos y las espiroquetas. Los vibrios poseen una sola curvatura y toman la forma de una especie de espirales incompletas, los espirilos son incurvados helicoidalmente, móviles, generalmente por flagelos polares y las espiroquetas son formas alargadas que presentan gran cantidad de v curvaturas entre ellas. (Montoya, H., 2008).

3.2.4. Inmisión de aerobacterias y los efectos a la salud

Los bioaerosoles formados por partículas de origen biológico o con actividad biológica pueden afectar a seres vivos a través de procesos infecciosos, alérgicos, tóxicos e irritantes (Llamazares, R. et al., 2013) En el caso de los seres humanos, las respuestas a los bioaerosoles varían desde efectos inocuos hasta enfermedades graves, dependiendo del agente específico y de los factores de susceptibilidad de cada persona. (NTP 409).

Las partículas de los bioaerosoles pueden alojarse dentro del sistema respiratorio humano por su tamaño microscópico las cuales pueden medir de entre 0,3 a 100 micras de diámetro; sin embargo, la fracción que se puede respirar varía de entre 1 a 10 micras. Las partículas que miden entre 1 y 5 micras generalmente permanecen flotando en el aire; mientras que las más grandes tienden a depositarse sobre las superficies. (Ríos Yuil J., 2011). En la Tabla 3 se presentan las regiones del sistema respiratorio donde pueden penetrar los microorganismos.

Tabla 3. Regiones del sistema respiratorio donde pueden penetrar los microorganismos.

Tamaño de partículas que penetran (µm)	Región	Patógenos
60	Cavidad nasal	<i>Staphylococcus aureus</i>
	Cavidad oral	<i>Neisseria meningitidis</i>
		<i>Streptococcus pyogenes</i>
20	Faringe	<i>Corynebacterium diphtheriae</i>
	Bronquio	Virus de la gripe
10	Bronquiolo	<i>Coccidioides immitis</i>
6	Bronquiolo terminal	<i>Bordetella pertussis</i>
4	Conductos lveolares	<i>Coxiella burnetii</i>
3	Sacos Alveolares	<i>Chlamydia</i> agente etiológico de la psitacosis

Fuente: Madigan, M., & Martinko, J., 1998. Biología de los microorganismos.

La inhalación de forma continua de partículas de contaminantes biológicos, incrementa la susceptibilidad a las infecciones respiratorias. Hay numerosas enfermedades bacterianas transmitidas por el aire que se resumen en la tabla 4. Las enfermedades bacterianas están producidas, principalmente, por bacterias Gram positivas debido a su mayor supervivencia en el aire. Afectan al tracto respiratorio superior (faringitis, epiglotitis, difteria) e inferior (bronquitis, neumonías, tosferina, tuberculosis) o, desde éste pasan a sangre y otros órganos (meningitis, carbunco pulmonar, fiebre Q, peste). (De la Rosa et al., 2002).

Tabla 4. *Enfermedades bacterianas transmitidas por el aire*

Enfermedades	Géneros y especies
Amigdalitis, farangitis, bronquitis, escarlatina	<i>Sterptococcus pyogenes</i>
Difteria	<i>Corynebacterium diphtheriae</i>
Neumonía clásica	<i>Sterptococcus pneumoniae</i>
	<i>Staphylococcus aureus</i>
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
Neumonía atípica, bronquitis	<i>Mycoplasma pneumoniae</i>
	<i>Chamydophila pneumoniae</i>
	<i>Chamydophila psittaci</i>
Meningitis	<i>Neisseria meningitidis</i>
Meningitis, epiglotitis, neumonía	<i>Haemophilus influenzae</i>
Tos ferina	<i>Bordetella pertussis</i>
Tuberculosis	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>
Legionelosis	<i>Legionella pneumophila</i>
Actinomicosis	<i>Actinomyces israelii</i>
Nocardiosis	<i>Nocardia asteroides</i>
Fiebre Q	<i>Coxiella burnetii</i>
Carbunco pulmonar	<i>Bacillus anthracis</i>
Peste	<i>Yersenia pestis</i>

Fuente: De la Rosa, et al., 2002. El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. . *Observatorio Medioambiental* , Pág. 375-402.

Dentro de las enfermedades bacterianas más destacadas se encuentran:

- Botriomicosis: paramicetoma de animales y humanos originado por bacterias, como *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus*, *S.aureus* y *Escherichia coli*. Afecta la cabeza y las extremidades, menos el tronco; se caracteriza por aumento de volumen y llagas que drenan exudado seroso que contiene los “granos”. La evolución es crónica y asintomática. Puede diseminarse hacia órganos internos. (Arenas, R., 2011)

Los patógenos transportados por el aire hacen su primer contacto con las mucosas del cuerpo cuando ingresan a las vías respiratorias altas. Varias enfermedades respiratorias o sistémicas inician las infecciones allí. (Tortora, G., et al, 2007)

- Faringitis estreptocócica: infección respiratoria alta causada por estreptococos del grupo A. Este grupo de bacterias grampositivas está formado solamente por *Streptococcus pyogenes*, la misma bacteria que produce muchas infecciones de piel y tejidos blandos. La patogenicidad de los estreptococs del grupo A aumenta debido a su resistencia a la fagocitosis. También pueden producir enzimas especiales conocidas como *estreptocinasas* que lisan los coágulos de fibrina, y *estreptolisinas*, que son citotóxicas para las células del tejido, los eritrocitos y los leucocitos protectores. (Tortora, G., et al, 2007)
- Difteria: enfermedad bacteriana aguda causada por *Corynebacterium diphtheriae*, que afecta sobre todo a las amígdalas, faringe, laringe, nariz, a veces otras mucosas o la piel y en ocasiones las conjuntivas o la vaginas. La lesión característica,

causada por la liberación de una citotoxina específica, es una membrana asimétrica, blancogrisácea y adherente, con inflamación a su alrededor. (Heyman, D., 2005).

A diferencia del tracto respiratorio superior (alto), que sólo posee un conducto para la entrada del aire, el tracto respiratorio inferior (bajo) tiene numerosos conductos que están ramificados. Las infecciones bacterianas del tracto respiratorio inferior, muchas de las cuales producen neumonías, son potencialmente graves. (Ingraham, J. & Ingraham, C., 1998).

- Neumonía neumocócica: *Streptococcus pneumoniae*, también conocido como el neumococo, es una bacteria Grampositiva que suele presentarse en parejas; las células tienen extremos ligeramente alargados. El neumococo es actualmente el agente más frecuente productor de las neumonías bacterianas graves que requieren hospitalización. (Ingraham, J. & Ingraham, C., 1998). Se conoce que puede ser causada además por *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Haemophilus influenzae*, *E. Coli*, *Proteus*, *Moraxella catarrhalis*, *Legionella*, *Listeria*, *Mycoplasma pneumoniae* y hongos. (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006).
- Tuberculosis pulmonar: enfermedad generada por el *Mycobacterium tuberculosis*, bacilo transmitido por medio de núcleos suspendidos e pequeñas gotas que son expulsadas con la expectoración de las personas afectadas. La tuberculosis puede manifestarse en cualquier órgano, porque *M. tuberculosis* se disemina por todo el organismo; sin embargo, la enfermedad pulmonar es la más frecuente (80-85% de todos los casos diagnosticados) debido a que el bacilo necesita abundante oxígeno para multiplicarse. En los pulmones de los enfermos se pueden formar cavidades en

las que se alojan grandes poblaciones de bacilos que pueden ser detectados en muestras de esputos. (OPS, 2008)

3.2.5. Influencia de las condiciones meteorológicas en el comportamiento aerodinámico de las aerobacterias.

El comportamiento aerodinámico que presentan los bioaerosoles constituye la característica más influyente cuando son emitidas al aire. Una vez que se encuentran en suspensión, su comportamiento aerodinámico va a estar gobernado por sus propiedades físicas (forma, tamaño y densidad) y las condiciones medioambientales (corrientes de aire, humedad, temperatura, etc.) (Sánchez-Monedero, et al., 2006).

Las partículas de mayor tamaño (con un diámetro aerodinámico superior a 10 μm) tienden rápidamente a sedimentar por la acción de las fuerzas gravitacionales, mientras que las partículas muy pequeñas (inferiores a 0.1 μm) son transportadas por movimientos brownianos y presentan un comportamiento similar a un gas, permaneciendo así en suspensión. Sin embargo, las partículas con un diámetro aerodinámico entre 0.1 y 10 μm presentan un comportamiento intermedio ya que su movimiento está afectado en mayor o menor medida por ambos tipos de fuerzas. La velocidad de sedimentación teórica de las partículas con tamaños entre 0.1 y 1 μm es aproximadamente de 0.01 cm s^{-1} , lo que supone que estas partículas necesitarían más de 5 horas antes de sedimentar en el suelo desde una altura de 2 metros. (Sánchez-Monedero, et al., 2006).

Movimiento browniano

El movimiento browniano fue descubierto en 1827 por R. Brown al observar al microscopio una sustancia acuosa de granos de polen. Brown observó que las partículas se

movían constantemente siguiendo una línea quebrada, y que la velocidad es tanto mayor cuanto más elevada es la temperatura. (Valenzuela, 1995). El movimiento browniano de los bioaerosoles corresponde al movimiento de micro partículas en un camino irregular. (Cutnell, J.D., & Johnson, K.W, 1995).

Este movimiento tiene su origen en la energía cinética de translación de las partículas dispersas, energía que es debida a la agitación térmica. Estas partículas se mueven rectilíneamente hasta que se produce la colisión con otras partículas, en cuyo instante se modifica la dirección del desplazamiento. (Valenzuela, 1995; Rey & Velasco, 2007). Se encuentra representado por la ecuación de Einstein. (Ec. 1), que plantea que el desplazamiento de la partícula es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su radio (Cox, C.S., & Wathes, C. M., 1995)

$$\bar{X} = 5 * 10^{-6} * \sqrt{\frac{t}{r}} \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde \bar{X} corresponde al desplazamiento en centímetros, t al tiempo en segundos y r el radio de la partícula en cm.

Fuerzas gravitatorias

La fuerza gravitatoria es la ejercida por la fuerza de gravedad, siendo una de las fuerzas que más influye en el comportamiento aerodinámico de los aerosoles. Las fuerzas gravitacionales que modulan el comportamiento de las partículas son dos fuerzas opuestas: la primera corresponde a la sedimentación denominada fuerza gravitacional de sedimentación, resultado de la acción atractiva de la gravedad de la tierra sobre la masa de

la partícula, y la segunda se atañe a la fuerza de empuje del aire, y se atribuye a la viscosidad del fluido del aire (masas de aire). (Velez-Pereira, et al, 2011).

La fuerza gravitatoria se expresa por la Ecuación 2 (Cox, C.S., & Wathes, C.M., 1995; Gnanasekharan & Floros, 1995).

$$V_{gs} = \frac{m_p * g}{6\pi * R_p * \mu_a} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde m_p es la masa de la partícula en gramos, g es la aceleración gravitacional en cm/s^2 , R_p es el diámetro de la partícula en μm y μ_a es la viscosidad del aire en $\text{Kg/cm}^*\text{s}$.

Debido a sus diferentes fuentes emisoras, las partículas en la atmósfera tienen distinta composición química que, a su vez, está influenciada por factores meteorológicos y topográficos. (Fernández, R., et al, 1992).

Las condiciones físico-químicas de la atmósfera no favorecen el crecimiento ni la supervivencia de los microorganismos por lo que la mayoría solo pueden sobrevivir en ella durante un breve período de tiempo. (De la Rosa, et al., 2002). La supervivencia de las bacterias es variable, debido a su diversidad estructural y metabólica. En general, las bacterias Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas ya que su pared celular es más gruesa. Por ejemplo, en aire seco algunas especies de *Bacillus* y *Clostridium* son capaces de sobrevivir más de 200 años, *Mycobacterium* un mes y *Salmonella* sólo diez minutos. (Potts, M., 1994).

Las principales condiciones meteorológicas que intervienen en el comportamiento de los bioaerosoles son: humedad relativa, temperatura, oxígeno, materia orgánica y radiaciones.

Humedad relativa

Medida de la cantidad de agua que tiene la atmósfera. El peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire se conoce como humedad absoluta y se expresa en unidades de masa de agua por unidades de volumen de aire seco. La humedad relativa, es la relación entre el contenido real de vapor en la atmósfera y la cantidad de vapor que saturaría el aire a la misma temperatura. (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006).

Cuando la humedad relativa del aire decrece, disminuye el agua disponible para los microorganismos, lo que causa deshidratación y por tanto la inactivación de muchos de ellos. La desecación puede causar una pérdida de viabilidad en las capas más bajas de la atmósfera, especialmente durante el día. A mayores altitudes, las condiciones son más favorables por la evaporación y algunas esporas pueden germinar en las nubes. (De la Rosa, et al., 2002).

La humedad relativa de la atmósfera varía de un 10-20 % en las regiones desérticas. El límite menor para el crecimiento de hongos es del 65 %. Las bacterias requieren una mayor humedad. Las Gram negativas resisten peor la desecación que las positivas; esto se refleja en que existe poca evidencia de transmisión por el aire de bacterias Gram negativas, con la excepción de *Legionella* (Lidwell, 1990).

Temperatura

Está muy relacionada con la humedad relativa, por lo que es difícil separar los efectos que producen ambas. La temperatura en la troposfera varía de 40° C cerca de la superficie, a -80° C en las capas altas, alcanzándose temperaturas de congelación entre 3-5 Km. La congelación no destruye los microorganismos pero no pueden multiplicarse. Diversos estudios muestran que el incremento de la temperatura disminuye la viabilidad de los microorganismos (Dimmock, 1967; Mohr, 1997).

Velocidad del viento

La velocidad del viento es una variable poco relacionada con la viabilidad de los aerosoles biológicos, sin embargo esta variable puede llegar a ser crucial para la supervivencia de los microorganismos, ya que de ella dependerá en gran medida el tiempo al cual estarán expuestos los microorganismos a las variables físico-químicas de la masa de aire donde realizan sus procesos de emisión y transporte, así mismo determinarán la distancia máxima que podrán llegar a recorrer los bioaerosoles en función de su diámetro. Es así como los bioaerosoles de diámetro inferior a 10 µm pueden recorrer grandes distancias en menores tiempos a velocidades de viento relativamente bajas con respecto a las partículas de mayor diámetro. (Vélez-Pereira et al., 2011).

Un estudio realizado en la ciudad de Marsella (Di Giorgio, et al, 1996) mostró que el número de bacterias se incrementaba con la temperatura y la velocidad del viento. La identificación de las bacterias mostró que la localización geográfica tenía influencia cualitativa y cuantitativa sobre la biota del aire, observándose un incremento global de los microorganismos, en particular de las bacterias Gram negativas, sobre todo en el área urbana.

Radiación solar

Energía radiante electromagnética con longitudes de onda entre 0.4 y 0.8 μm , aproximadamente alrededor del 42% de esta energía es absorbida por la atmósfera, reflejada al espacio por las nubes, vuelta a dispersar por la atmósfera, reflejada por la superficie terrestre y absorbida por el vapor de agua y las nubes. La mayor parte de la energía en la atmósfera baja es absorbida por el vapor de agua y el CO_2 . Las partículas y aerosoles bloquean el paso de la radiación. (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006). La inactivación que producen en los microorganismos depende de la longitud de onda e intensidad de la radiación. Las de longitud de onda corta (rayos X, rayos (γ)) contienen más energía, son ionizantes y alteran o destruyen el DNA de los microorganismos. La exposición a radiaciones de corta longitud de onda, como la luz ultravioleta, es la principal causa de pérdida de viabilidad de los microorganismos que entran en la atmósfera. (De la Rosa, et al., 2002).

Otros factores

Precipitación

Las gotas de agua tiene un diámetro que oscila de 0.5 a 3 mm, las gotas grandes se van dividiendo en gotas más pequeñas por efecto de la fricción con el aire en el momento de la caída (llovizna < 0.5 mm). Cuando el aire gana humedad y la temperatura asciende hasta condensarse; de ésta forma se forma la lluvia, teniendo en cuenta que haya núcleos de condensación suficientes para formar las gotas de agua. La lluvia permite renovar la calidad del aire ya que arrastra las partículas y las deposita en el suelo. Este efecto puede ser benéfico en cuanto a bioaerosoles se trata, ya que los elimina del aire y en el suelo tienen

menos posibilidades de ingresar por vía aérea a los pulmones. (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006).

Oxígeno

Se ha observado una correlación negativa entre la concentración de oxígeno y la viabilidad, que aumenta con la deshidratación y el tiempo de exposición. La causa de la inactivación podría ser los radicales libres de oxígeno. (De la Rosa, et al., 2002).

Materia orgánica

La atmósfera contiene muy poca concentración de materia orgánica, y en la mayoría de los casos, es insuficiente para permitir el crecimiento heterotrófico. El agua disponible es escasa por lo que, incluso el crecimiento de microorganismos autótrofos está limitado. (De la Rosa, et al., 2002).

Factores microbiológicos

El tipo, especie o cepa de un microorganismo afecta a su supervivencia en el aire. Diversos estudios mostraron que el aire atmosférico producía un mayor grado de inactivación que el aire inerte obtenido en el laboratorio. La causa podría ser las reacciones entre el ozono y las olefinas debido a una combinación de factores que incluyen concentración de contaminantes e iones en el aire, humedad y fluctuaciones de la presión, al conjunto de los cuales se les llama factores del aire abierto (Mohr, 1997). Bacterias Gram-negativas contienen más fosfolípidos que las bacterias Gram-positivas. La susceptibilidad de las bacterias Gram negativas se debe a los factores climáticos, puesto que la temperatura, la humedad relativa y radiación solar son factores limitantes, ya sea por

exceso o por déficit inducen inactivación bacteriana, cuando esto sucede se ven afectados principalmente los fosfolípidos y proteínas. (Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006).

Cuando los organismos son estresados por aerosolización, frío, calor, congelación, radiación, contaminación química o choque osmótico, pueden morir o ser dañados, aunque otros pueden permanecer aparentemente sin resentir sus efectos. Las bacterias dañadas son importantes ya que no son capaces de crecer en medios de cultivo (viables no cultivables) como lo harían las especies no dañadas; sin embargo, éstas se podrían reproducir al encontrar un ambiente adecuado, obteniendo suplementos metabólicos que les permitirían reparar el daño sufrido y así poderse reproducir. De tal forma que la supervivencia de una bacteria al ser estresada, dependerá de su capacidad de reparar sus funciones biológicas afectadas y podría mencionarse de manera general que lo realizan a través de dos tipos de procesos, los físico-químicos y los enzimático (dependiente de energía). (Rosas, et al., 2004).

3.2.6. Monitoreo ambiental de aerobacterias

El monitoreo ambiental de aerobacterias está mayormente dirigido a los rellenos sanitarios para asegurar que no se liberen contaminantes que puedan afectar la salud pública y el ambiente circundante. El monitoreo ambiental puede ser llevado a cabo por medio de métodos con toma de muestras, el cual involucra la toma de muestras simples para que éstas sean analizadas en un laboratorio. (*Monitoreo ambiental.*, s.f.)

Métodos pasivos

Los sistemas de monitoreo pasivo (Shooter & Brimbecomble, 1993), se basan en la absorción del contaminante sobre un sustrato específico que retenga a la sustancia que se

quiere analizar. Luego de la exposición, las muestras son llevadas al laboratorio donde se desorbe la sustancia y se analiza cuantitativamente. Estos muestreadores tienen un costo inicial muy bajo, dependiendo de los sustratos de absorción específicos para cada contaminante. Son sistemas simples, sobre todo en la toma de muestra. Necesitan de un laboratorio químico.

Métodos activos

Los sistemas activos de monitoreo (UNEP WHO, 1994; Pasquarella et al., 2008), se basan en el pasaje de aire, conducido mediante una bomba de aspiración, a través de un reactivo químico específico o de un medio físico de colección. La muestra así obtenida es llevada al laboratorio donde se realiza el análisis cuantitativo. El volumen de aire que se utiliza para la muestra es superior al de los sistemas pasivos, por lo tanto la sensibilidad del método es mayor, pudiéndose obtener promedios horarios o diarios de concentraciones de contaminantes. Estos sistemas son más complejos y tienen costos de instalación, mantenimiento y operación más elevados que los denominados pasivos

3.3. Marco Normativo

3.3.1. Normas internacionales sobre bioaerosoles

La exposición a bioaerosoles, a diferencia de la exposición a sustancias químicas, no tiene valores límites umbral (TLVs) para evaluar el impacto en la salud o efectos tóxicos, debido a la complejidad en su entidad, las variaciones en la respuesta humana a la exposición y las dificultades en la recuperación de los microorganismos que pueden suponer riesgo durante el muestreo de rutina (Srikanth et al., 2008).

Actualmente no existen límites legales que regulen la exposición a bioaerosoles en lugares de trabajo pero si se cuenta con guías técnicas que incluyen la clasificación de agentes biológicos, como es el caso de la Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos relacionados con la Exposición a Agentes Biológicos del real decreto 664/1997, de 12 de mayo.

A efectos de lo dispuesto en el Real Decreto, los agentes biológicos se clasifican, en función del riesgo de infección, en cuatro grupos:

- Agente biológico del grupo 1: aquél que resulta poco probable que cause una enfermedad en el hombre.
- Agente biológico del grupo 2: aquél que puede causar una enfermedad en el hombre y puede suponer un peligro para los trabajadores, siendo poco probable que se propague a la colectividad y existiendo generalmente profilaxis o tratamiento eficaz.
- Agente biológico del grupo 3: aquél que puede causar una enfermedad grave en el hombre y presenta un serio peligro para los trabajadores, con riesgo de que se propague a la colectividad y existiendo generalmente una profilaxis o tratamiento eficaz.
- Agente biológico del grupo 4: aquél que causando una enfermedad grave en el hombre supone un serio peligro para los trabajadores, con muchas probabilidades de que se propague a la colectividad y sin que exista generalmente una profilaxis o un tratamiento eficaz.

En España, el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo han desarrollado Notas Técnicas de Prevención (NTPs), guías de buenas prácticas en el trabajo, que incluyen indicaciones que no son obligatorias

salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. Dentro de este grupo, se destacan varias guías dedicadas a la medición de agentes biológicos como lo son:

- NTP 299: Método para el recuento de bacterias y hongos en aire.
- NTP 409: Contaminantes biológicos: criterios de valoración.
- NTP 608: Agentes biológicos: planificación de la medición.
- NTP 609: Agentes biológicos: equipos de muestreo (I).

(**NTP 299, 1997**) expone la metodología correspondiente a la toma, transporte y conservación de muestras de aire para la determinación de bacterias y hongos, así como el fundamento del método analítico, su campo de aplicación y sus limitaciones. Se encuentra además, la fórmula para determinar la concentración de bioaerosoles; en la cual, una vez determinado el número de colonias, y sabiendo el flujo de aire y el tiempo de muestreo que se ha aplicado, se puede calcular el número de unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire multiplicando el numero de colonias entre mil y dividiendo el resultado entre la multiplicación entre el flujo de aire y el número de unidades de tiempo empleados para el muestreo.

(**NTP 409, 1997**) se exponen algunas razones por las cuales se hace difícil establecer criterios de valoración numéricos que permitan interpretar de forma sencilla la exposición a contaminantes biológicos y se proporcionan unas guías básicas que faciliten la evaluación de esas exposiciones.

(**NTP 608, 2001**) muestra la planificación de la medición para llevar a cabo una correcta evaluación de la exposición a agentes biológicos en lugares de trabajo; destaca que los efectos de la exposición a agentes biológicos son consecuencia de dos situaciones diferentes; en un caso, ocurren tras la existencia de un accidente laboral, habitualmente

declarado, investigado y con causas que casi siempre se pueden determinar, por ejemplo: los cortes o pinchazos producidos con herramientas o instrumentos contaminados; en el otro caso, los efectos son fruto de una exposición laboral más propia de las estudiadas por la higiene industrial, como es la exposición a agentes químicos, en la que un agente contaminante puede estar presente en el ambiente, en una concentración indeterminada que puede o no causar un daño en la salud de las personas.

(NTP 609, 2001) se describen los requisitos que deben cumplir los distintos equipos de toma de muestras de agentes biológicos. Asimismo, se describen los diferentes principios de captación de partículas y las principales características de los equipos de muestreo más frecuentemente utilizados.

Además de España, los países escandinavos han propuesto guías técnicas para establecer límites permisibles a la exposición de partículas biológicas, en donde se proponen una concentración máxima de 10.000 UFC/m³ para bacterias totales y 1.000 UFC/m³ para bacterias Gram-negativas, durante 8 horas de exposición (Malmros, 1990; Poulsen et al., 1995), al igual que el instituto IRSST (Goyer et al., 2001).

3.3.2. Normas nacionales sobre bioaerosoles

La dificultad en establecer unos límites máximos de exposición se debe a la complejidad de los componentes de los bioaerosoles (bacterias, hongos, restos de microorganismos, su viabilidad, sustancias excretadas por ellos, etc.), la falta de información sobre las dosis infectiva de muchos de los agentes biológicos y la distinta respuesta de los individuos a un mismo agente biológico (INSHT, 1996).

En Colombia, no existe norma alguna que exponga los límites máximos de exposición a biocontaminantes; incluso, en las normas técnicas no es mencionado el

monitoreo de bioaerosoles en interiores o exteriores. Los únicos lugares a los cuales algunas de las autoridades ambientales competentes les exigen monitoreo de biocontaminantes, es a los rellenos sanitarios. Los rellenos sanitarios, como sistemas de disposición final de los residuos sólidos, deben ser proporcionados en principio por las Alcaldías de cada municipio conforme a la ley 99 de diciembre 22 de 1993 y el Decreto 1713 de 2002, pero el municipio puede contratar con la empresa privada, a partir de licitaciones. Las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), tienen funciones de vigilancia, así como las Contralorías en su papel de Ente de Control Fiscal Ambiental de acuerdo con la Ley 42 de 1993 y el Ministerio Público (conformadas por las procuradurías, defensorías del pueblo y personerías) como entes que controlan el buen desarrollo de las funciones estatales, en este caso la correcta prestación de un servicio público. (Noguera, K. & Olivero, J., 2010).

El manejo de los residuos orgánicos en un relleno sanitario es una de las actividades antropogénicas generadoras de partículas aerotransportables de origen biológico debido a que liberan una gran cantidad de microorganismos a la atmósfera (Vélez-Pereira et al., 2009). La instalación de una planta de tratamiento de residuos orgánicos suele originar la oposición de los habitantes de zonas cercanas. El principal motivo de rechazo ha sido tradicionalmente la emanación de olores, pero en los últimos años ha aumentado el interés por conocer el riesgo biológico que supone para la salud la exposición a los bioaerosoles, o partículas aerotransportables, generadas durante el manejo de los residuos. Las principales actividades generadoras de bioaerosoles en dichos establecimientos son el transporte y descarga de los residuos, su trituración, el volteo de las pilas de compostaje y, por último, el cribado del compost maduro (Sánchez-Monedero et al., 2006).

En Colombia, existen normas y guías para la planificación, construcción y seguimiento de los rellenos sanitarios, y otras encaminadas a mantener la calidad de aire en todo el territorio nacional. A continuación se muestran las normas y guías nacionales más destacadas relacionadas con los rellenos sanitarios y la calidad del aire.

(Constitución Política de Colombia, 1991) Título II. De los derechos, las garantías y los deberes. **Capítulo I** De los derechos fundamentales. Artículo 25. Derecho a un trabajo en condiciones dignas y justas. Artículo 79. Derecho a gozar de un ambiente sano. Artículo 80. Manejo y aprovechamiento de los recursos naturales garantizando desarrollo sostenible.

Los artículos 49 y 366 que consagran el saneamiento ambiental como un servicio público a cargo del estado, lo que ratifica el concepto de responsabilidad objetiva, ya explicado, por la teoría de la falla del servicio. El artículo 334 obliga a la intervención del estado en los usos del suelo para proteger el medio ambiente.

(Ley 99, 1993). Mediante la cual se creó el Ministerio de Medio Ambiente: órgano jerárquicamente superior dentro de todas las autoridades ambientales: Corporaciones autónomas regionales, departamentos y municipios. Se creó la licencia ambiental única que llevara implícitos todos los permisos ambientales que cualquier proyecto necesitase.

(Resolución 909, 2008). Se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas, adopta los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias. No se mencionan actividades asociadas a los rellenos sanitarios ni emisiones de bioaerosoles.

(Resolución 1541, 2013). Se establecen los niveles permisibles de calidad de aire o de inmisión, el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos y las reglas para la recepción de quejas. Así mismo, regula el Plan para la Reducción del Impacto por Olores Ofensivos y Plan de Contingencia. En el artículo 6 se presentan los niveles permisibles de calidad de aire o de inmisión de mezclas de sustancias de olores ofensivos, para el tratamiento y disposición de desechos no peligrosos y estaciones de transferencia se tiene un nivel permisible de $3 \text{ OU}_E/\text{m}^3$ (Unidades de olor europeas, expresadas como el percentil 98 de las horas modeladas durante un año).

El documento que puede avalar el monitoreo de bioaerosoles, es la guía ambiental para rellenos sanitarios publicada en 2002 en el contexto del Proyecto Colectivo Ambiental y del programa de Calidad de Vida Urbana. Este documento es un instrumento técnico y ambiental que orienta a los municipios a realizar en forma adecuada, la localización, el diseño, la construcción, la operación y la clausura de los rellenos sanitarios municipales y regionales y establece realizar monitoreos con frecuencia con el fin de garantizar la prevención y mitigación de los impactos ambientales.

4. Metodología

4.1. Área de estudio

El área de estudio del proyecto está conformada por Cuatro Bocas, corregimiento de Tubará, Atlántico. Localizado a 13 kilómetros de Barranquilla, 2 kilómetros de un relleno sanitario tipo A y 9 kilómetros del casco urbano de Tubará, limitando al Norte con

Barranquilla, Sur con el casco urbano de Tubará, Este Galapa y al Oeste con Puerto Colombia. (Tubará-Atlántico, 2012). (Figura 2).

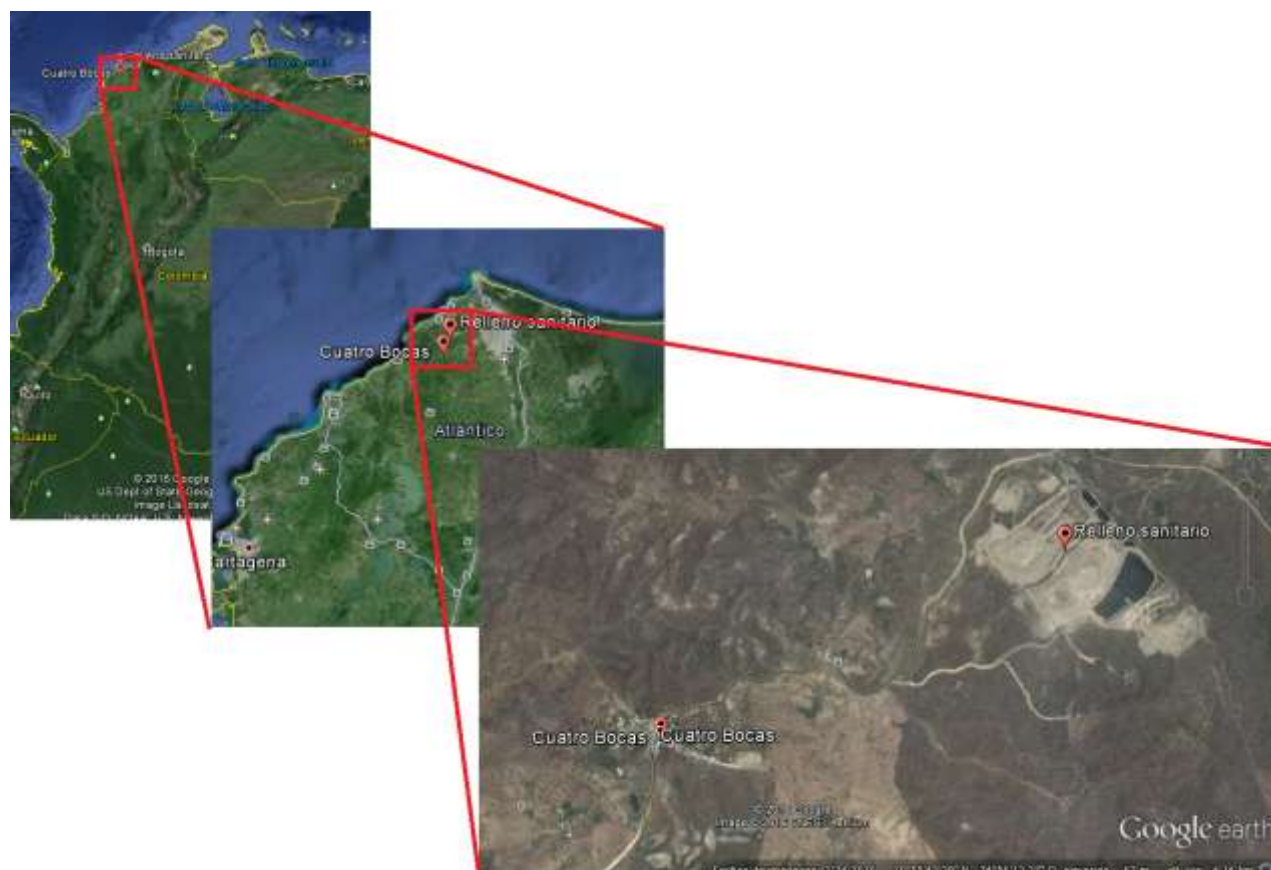


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio. **Fuente:** Google Earth. 2016.

4.2. Cuantificación de aerobacterias

4.2.1. Equipos y materiales

Para realizar la captura de las partículas viables presentes en el aire se empleó un equipo de impactación por cascada. El principio de colecta por impactación se basa en la

tendencia de una partícula a desviarse del flujo de aire debido a la inercia, cuando la corriente de aire se curva al pasar por una superficie sólida o semisólida. Las partículas se separan de la corriente de aire y se impactan sobre la superficie (Rosas, et al 2004).

El impactador de cascada empleado (figura 3) está constituido por una serie de seis placas de aluminio, cada uno con 400 orificios cuyo diámetro disminuye sucesivamente, por lo que la velocidad del aire se incrementa de una etapa a la siguiente; succiona un flujo de aire de $28,3 \text{ L/ min}^{-1}$ por medio de una bomba de vacío. (Wang, W., et al, 2010, Yao, M. & Mainelis, G., 2007). Las partículas que son acarreadas en la corriente de aire, con un diámetro aerodinámico entre 15 a $1 \mu\text{m}$, son separadas por su tamaño en seis fracciones al pasar por las placas perforadas. Las partículas de una masa mayor son depositadas en la etapa superior, mientras que las partículas más pequeñas, capaces de mantenerse en el flujo de aire a baja velocidad, son transportadas sucesivamente a mayor velocidad y se impactan sobre la superficie de colecta de las siguientes etapas. Bajo cada placa se coloca una caja Petri con agar, en cuya superficie se desarrollarán las partículas viables. (Rosas, et al. 2004). El caudal de aire fue calibrado previamente a la toma de muestra por medio de un rotámetro Dwyer modelo RMB-53-SSV.



Figura 3. Equipo de Impactación por cascada. Thermo Fisher Scientific Andersen. **Fuente:** Thermo Fisher Scientific Inc., 2007

El tracto respiratorio humano es un sistema de clasificación aerodinámica para

partículas en el aire. El dispositivo de muestreo se puede utilizar como un sustituto para el tracto respiratorio como un colector de partículas viables en el aire y como tal, debe reproducir en un grado razonable la penetración pulmonar por estas partículas. La fracción de las partículas inhaladas, retenidas en el sistema respiratorio y el sitio de deposición varía con todas las propiedades físicas (tamaño, forma, densidad) de las partículas que componen las dimensiones aerodinámicas. (Thermo Fisher Scientific Inc., 2007). El tamaño aceptable para cada área del sistema respiratorio, simulado por el equipo de impactación, se muestra en la figura 4.

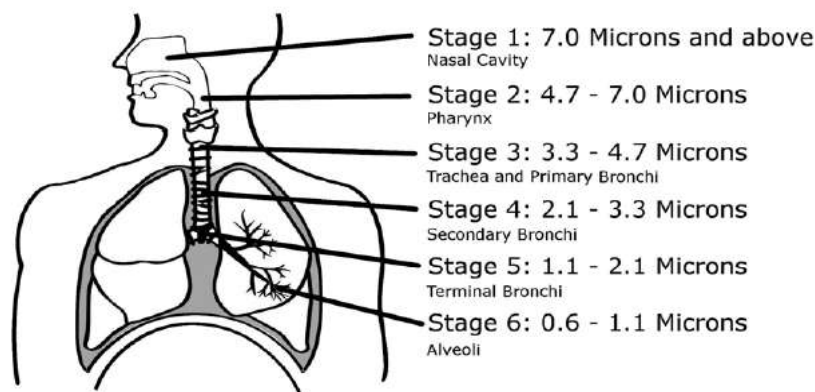


Figura 4. Tamaños de partículas aceptables por el equipo de impactación por cascada mediante la simulación del sistema respiratorio humano. **Fuente:** Thermo Fisher Scientific Inc., 2007

Las partículas fueron recolectadas en cajas de Petri, ubicadas en cada una de las placas del equipo de impactación, llenas con unos 30ml de Agar Plate Count el cual es considerado un medio de cultivo para la enumeración y recuento bacteriano en cuartos estériles.

El equipo empleado para medir las condiciones medioambientales del corregimiento es el anemómetro Kestrel 4500 710830. Este equipo se configuró para mostrar 13 mediciones: dirección, velocidad del viento, viento de través, viento en contra/de cola,

temperatura, sensación térmica, humedad, índice de calor, punto de rocío, bulbo húmedo, presión barométrica, altitud, altitud de densidad de las cuales se tomaron: temperatura, humedad y dirección y velocidad del viento para el estudio. Todas las mediciones del equipo cumplieron con las normas del National Institute of Standards and Technology, lo cual garantiza el nivel más alto de precisión.

4.2.2. Preparación del Material para la toma de muestras

Para la toma de muestras en la zona objeto de estudio se preparó Agar Plate Count, medio ideal para el desarrollo y conteo de bacterias mesofílicas. Su preparación se llevó a cabo mediante la mezcla de 23,5g por litro de agua destilada. La mezcla se preparó en un Beaker con capacidad de 5 litros; luego de ello se llevó el Beaker a una plancha de calentamiento provista por agitadores magnéticos, se dejó hervir y reposar durante 10 minutos, al cabo de este tiempo, se sirvieron los litros de agar preparados en botellas de vidrio con tapa de rosca para su posterior esterilización. La mezcla se esterilizó en Autoclave a 121°C durante 15 minutos según lo indicado en los contenedores del Agar Plate Count. Debe tener un pH final de 7.0 +/- 0.2. (Merckmillipore, 2015).

Al finalizar la esterilización, se dejó enfriar el medio y finalmente se sirvieron 30 ml del mismo en cada una de las cajas de Petri previamente esterilizadas; este procedimiento se realizó en una cabina de flujo laminar. Se dejaron enfriar las cajas de Petri durante 4 horas a temperatura ambiente. Un día antes de cada monitoreo se aclimataron las cajas de Petri para evitar condensación de agua en las tapas.

4.2.3. Toma de muestras

La metodología implementada se fundamenta en el protocolo estandarizado para el muestreo de bioaerosoles en plantas de compostaje publicado por La Asociación de Compostaje del Reino Unido (UK Composting Association). (Gilbert & Ward, 1999; Sánchez-Monedero, M. A. et al., 2006; Camargo et al, 2011)

El método se basó en la captación por impacto de las aerobacterias mediante un muestreador del tipo Andersen de seis etapas, provisto de placas Petri que contenían los medios de cultivo adecuados para el indicador elegido: agar nutritivo para el recuento total de bacterias. Como primer paso, se desarrolló un premuestreo en el mes de Marzo del año 2015 en el corregimiento de Cuatro Bocas para determinar el tiempo óptimo de recolección por medio del impactador y comprobar la existencia de bioaerosoles en el lugar. Para esto, se tomaron 3 réplicas por estación (2 estaciones) con tiempos de colecta de 3, 5 y 10 minutos. Teniendo en cuenta la replicabilidad y los niveles de detección, se determinó un tiempo óptimo de colecta de 5 minutos, pues los resultados tienden a ser más exactos; además, las concentraciones de aerobacterias por etapa del impactador tuvieron mayor estabilidad en un tiempo de colecta de 5 minutos que en los demás tiempos aplicados.

Luego de la jornada de premuestreo se llevaron a cabo ocho (8) campañas de monitoreo en Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre del año 2015 y en Enero de 2016. Los monitoreos se realizaron en dos jornadas (matutina y vespertina) tomando muestras por triplicado en dos (2) estaciones ubicadas en el corregimiento de Cuatro Bocas.

4.2.4. Monitoreo en Campo

Se localizaron dos (2) estaciones (S) con el GPS Garmin Oregon 550 en el

corregimiento de Cuatro Bocas. Las estaciones (S) se encuentran distribuidas a lo largo del eje central de la dirección predominante de los vientos, la geometría y topografía del terreno destacando las zonas representativas del lugar donde se presentan fuertes olores; además, teniendo en cuenta áreas despejadas de interferencia física. (Ver figura 5)



Figura 5. Estaciones del monitoreo ubicadas en el corregimiento de Cuatro Bocas. **Fuente:** Google Earth. 2016

Las dos (2) estaciones (S) localizadas fueron definidas luego del premuestreo, el cual arrojó resultados favorables para el estudio. Las coordenadas de las estaciones de muestreo se observan en la tabla .5

Tabla 5. *Coordenadas de las estaciones (S) de muestreo.*

Estación	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
Finca #1 Cuatro Bocas	N10°55'26,15"	W74°56'23,79"
Finca #2 Cuatro Bocas	N10°55'17,30"	W74°56'27,04"

Fuente: Autor

4.2.5. Cuantificación e identificación del material

Al finalizar cada monitoreo, las muestras fueron colocadas, luego de su recolección, en una incubadora a 37°C durante 48 horas. Al finalizar el periodo de incubación

correspondiente se contaron las colonias y se efectuó una observación macroscópica y una microscópica. Una vez contadas las colonias de microorganismos se procedió a realizar la tinción de Gram a las colonias de bacterias obtenidas lo cual permitió conocer la morfología y la Gram predominante. Posteriormente, se empacaron y ubicaron las cajas de Petri en la incubadora para inactivar a los microorganismos; luego de esto, el material solidificado se removió mediante espátula y se dispuso en bolsas de bioseguridad.

Las cajas de Petri se dejaron en una solución de hipoclorito de sodio al 13%, durante 24 horas para luego ser lavadas, secadas y esterilizadas. Este procedimiento se realizó en cada campaña.

4.2.6. Determinación de la concentración de aerobacterias

Las concentraciones se obtuvieron en función de la cantidad de unidades formadoras de colonia por metro cúbico de aire muestreado en un lapso determinado (UFC) por m³, aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Concentración de bioaerosoles } \left(\frac{\text{UFC}}{\text{m}^3} \right) = \frac{NC \times 1000}{Q \times NU} \quad \text{EC. 3}$$

En Donde NC es la cantidad de colonias por placa, 1000 es un factor de conversión de unidades, Q es el caudal de aire que ingresa en el impactador de cascada (28,3 L/min) y UN el tiempo de colecta de los bioaerosoles (5 min).

4.3. Influencia de las condiciones meteorológicas en el comportamiento de aerobacterias

4.3.1. Condiciones meteorológicas

El área de estudio se caracteriza por presentar una época de lluvias que se extiende desde Abril a Noviembre, se caracteriza por vientos débiles, de orientación variable y por

un régimen regular de lluvias. En el segundo semestre del año, suelen presentarse los denominados Ciclones Tropicales (Huracanes), los cuales pueden aumentar el régimen de lluvias en todo el Caribe colombiano. (CIOH, 2015). La precipitación anual del lugar no sobrepasa los 1000 mm (Ver Figura 6). Las temporadas secas ocurren entre diciembre y abril, la principal, y una segunda, de menor intensidad en los meses de junio, julio y agosto (IDEAM, 2015). (Ver Figura 7).

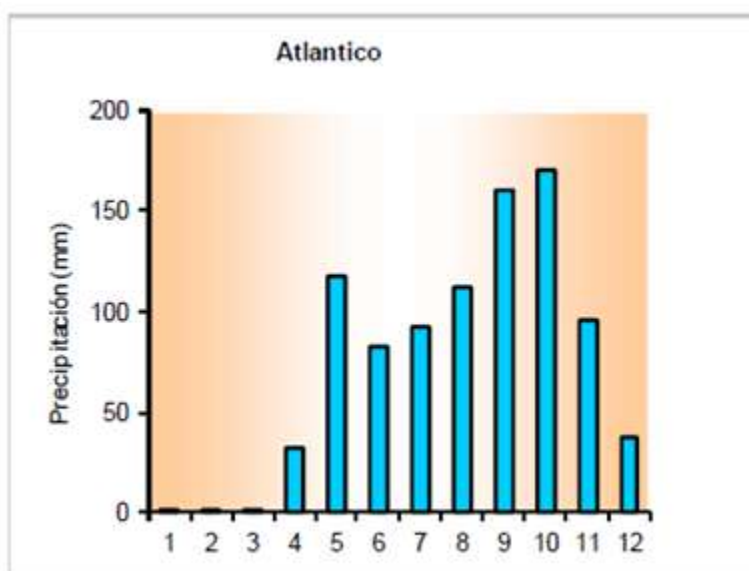


Figura 6. Régimen mensual de lluvias en el Departamento del Atlántico. Estación Meteorológica Ernesto Cortisso. **Fuente:** IDEAM, 2010

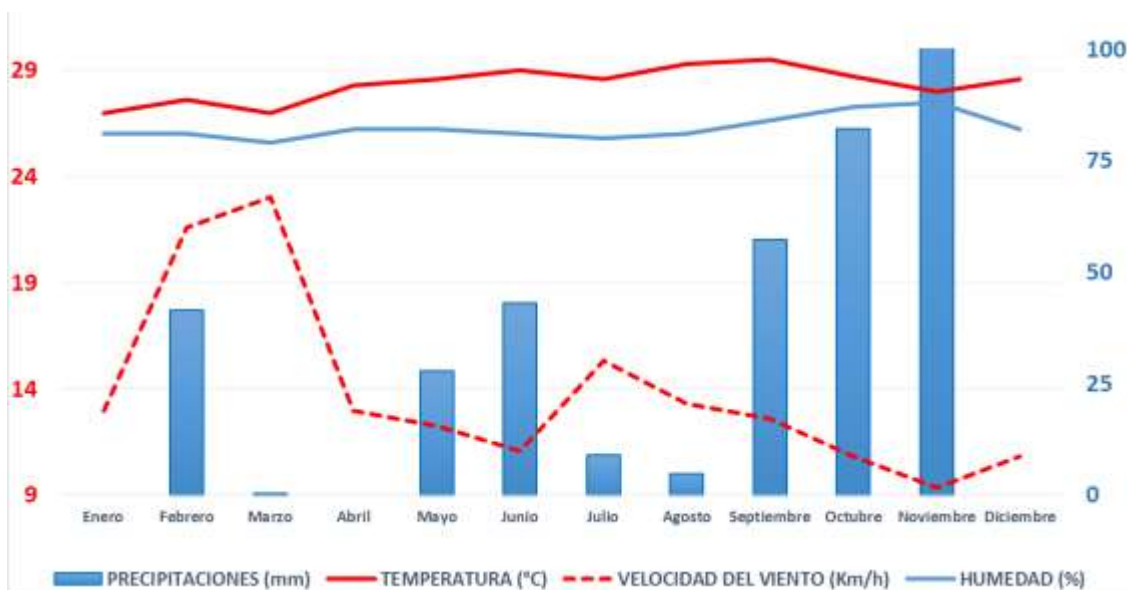


Figura 7. Condiciones meteorológicas en el Departamento del Atlántico 2015. **Fuente:** IDEAM.

Con respecto a la velocidad del viento se alcanzan magnitudes de hasta 18 km/h en promedio mientras que la predominancia de la dirección del viento es NE (IDEAM & UPME, 2006). La humedad relativa presenta una oscilación entre el 78% y el 86% aproximadamente, tal como lo reporta IDEAM. El régimen pluvial y térmico dominante en el área es de tipo cálido árido como se observa en la Figura 8.



Figura 8. Clasificación climática Caldas-Lang en el departamento del Atlántico. **Fuente:** IDEAM, 2015

4.3.2. Análisis e interpretación de datos

Los resultados obtenidos en la fase experimental del proyecto fueron sintetizados en una tabla de Excel por cada microorganismo, campaña, estación de monitoreo, jornada y réplica. Los datos fueron analizados mediante el software Statgraphics Centurion XVI, aplicando un modelo de regresión lineal generalizado, con el fin de determinar si existe relación entre las variables meteorológicas medidas (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) con las concentraciones obtenidas de aerobacterias con un 95% de confianza ($p < 0.05$).

4.4.Distribución espacio-temporal de aerobacterias

La distribución espacio-temporal de la concentración de aerobacterias se realizó mediante el programa Golden Surfer 11 a través de mapas de isoconcentración, con el fin de observar las concentraciones en distintas isolíneas, y así conocer las zonas con mayor o menor concentración en una determinada jornada y campaña.

5. Resultados y discusión

5.1.Concentración de aerobacterias

Los resultados de la concentración en UFC/m³ de las aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas durante las ocho campañas de monitoreo y en las dos jornadas seleccionadas se observa el promedio geométrico empleado para la tasa de crecimiento de aerobacterias en relación a las estaciones y las jornadas de monitoreo. (Vélez-Pereira, A., et al, 2010). Ver tabla 6.

El máximo promedio geométrico de aerobacterias se presentó en la jornada de la mañana en la Finca #1 (362,40 UFC/m³), mientras que el mínimo se reportó en la jornada de la tarde en la Finca #2 (150,29 UFC/m³). En cuanto a los resultados por jornada, en la mañana, se encontró la concentración máxima en la Finca #1 (777,39 UFC/m³) y la mínima en la Finca #2 (96,584 UFC/m³) mientras que en la tarde, la máxima concentración se presentó en la Finca #2 (866,902 UFC/m³) y la mínima concentración en la Finca #1 (75,3828 UFC/m³). Discriminando los valores por campañas, se obtuvo la máxima concentración de aerobacterias en la Campaña 8 con un total de 866,902 UFC/m³ y la mínima, en la Campaña 4 con 75,3828 UFC/m³. De cualquier modo, ambas estaciones presentan valores cercanos en relación a la concentración de aerobacterias.

Tabla 6. *Concentración de aerobacterias. *Campaña con precipitaciones.*

Microorganismo	Estación	Jornada	Concentraciones por campaña (UFC/m3)								Promedio Geométrico
			1	2*	3	4	5*	6	7	8	
Aerobacterias	Finca #1	Mañana	548,881	777,39	233,22	303,887	318,021	235,57	339,22	381,625	362,40
		Tarde	369,847	216,73	270,91	75,3828	77,7385	101,3	219,08	195,524	153,12
	Finca #2	Mañana	200,236	358,07	230,86	124,853	108,363	129,56	96,584	127,208	175,30
		Tarde	136,631	303,89	193,17	77,7385	87,1614	212,01	558,3	866,902	150,29
	Desviación Estándar		185,01	249,14	31,75	108,04	114,19	64,34	196,76	333,84	
	Promedio Aritmético		104,63	138,01	77,35	48,49	49,27	56,54	101,10	130,94	

Fuente: Autor

Los intervalos de concentraciones de bioaerosoles encontrados en el corregimiento de Cuatro Bocas no superan la concentración establecida por Rosas et al. (2004) para zonas rurales ($202 - 3,4 \times 10^3$), teniendo en cuenta la máxima concentración obtenida (866,902 UFC/m³), en la jornada vespertina y la mínima, en la misma jornada, (75,3828 UFC/m³) se confirma lo sugerido por Rosas et al. (2004) quienes afirman que la concentración de aerobacterias aumenta durante la época seca debido al transporte convectivo de las partículas provenientes de las superficies secas, lo cual se da porque las bacterias suspendidas en la atmósfera generalmente se encuentran asociadas a otro tipo de partículas como material inerte, minerales etc. Caso contrario sucede en la época de lluvias, en la cual el número disminuye significativamente debido al lavado de la atmósfera.

Los porcentajes de la concentración de aerobacterias por campaña y jornada en cada una de las estaciones monitoreadas reportaron valores cercanos de concentración de aerobacterias en ambas estaciones. El mayor porcentaje de concentración de aerobacterias se reporta en la Campaña 8, en la jornada vespertina con un 81,5%, mientras que en la jornada matutina se reportaron porcentajes de concentración de 77,8% y 75% en las campañas 7 y 8 respectivamente. Ver Figura 9.

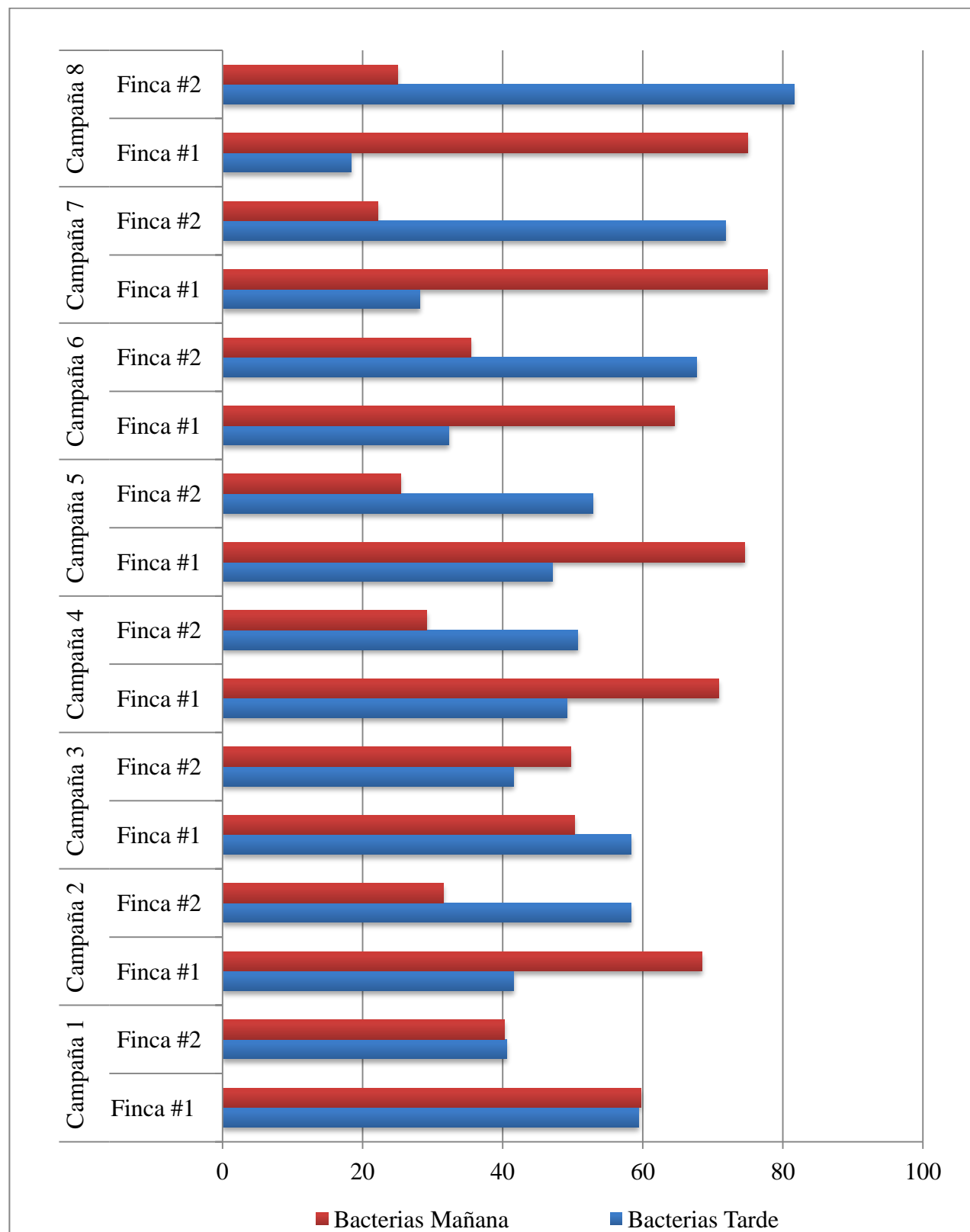


Figura 9. Distribución porcentual de la concentración de aerobacterias por campaña y jornada. **Fuente:** Autor

Las aerobacterias tienden a acumularse principalmente en la etapa 1 equivalente a la cavidad nasal y en la etapa 3, equivalente a la tráquea y bronquios primarios en el sistema respiratorio humano y en menor medida en las etapas 4 (bronquios secundarios) y 6 (alveolos). En cuanto a la campaña, la mayor acumulación de aerobacterias se presentó en la Campaña 8, en la cavidad nasal. Ver Figura 9

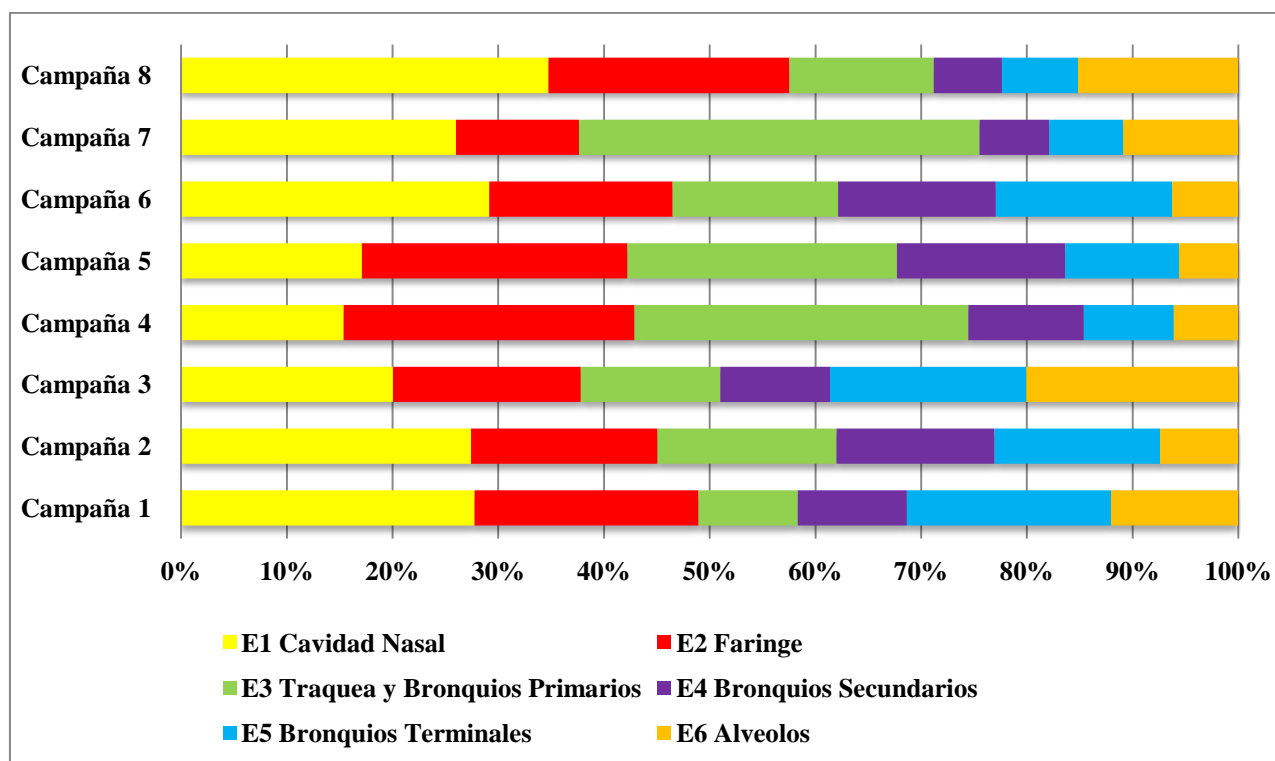


Figura 9. Distribución porcentual de la concentración de bioaerosoles por etapas del impactador **Fuente:** Autor

La predominancia de bioaerosoles respirables en la presente investigación coincide con otros estudios realizados, en los cuales se afirma que la mayor tendencia a la acumulación de aerobacterias se evidencia en las etapas 3, 4,5 y 6 del impactador; lo anterior debido al diámetro de las partículas (Rodríguez et al., 2005; Vélez-Pereira et al., 2010). De esta manera, se confirma la presencia de aerobacterias que resultan perjudiciales a la salud de los habitantes de la zona, debido a la acumulación de las partículas en los

pulmones, bronquios y alvéolos pudiendo provocar diversas enfermedades alérgicas, respiratorias crónicas e infecciosas graves (Rodríguez et al., 2005; Sánchez-Monedero et al., 2006; Vélez-Pereira et al., 2010; Jonsson et al., 2014) incluyendo el síndrome orgánico polvo tóxico, alveolitis alérgica extrínseca (EAA), rinitis alérgica, asma, irritación de las vías respiratorias superiores e irritación de las mucosas (Swan et al., 2003; Sykes et al., 2007).

Las partículas de mayor tamaño (con un diámetro aerodinámico superior a $10\text{ }\mu\text{m}$) tienden rápidamente a sedimentar por la acción de las fuerzas gravitacionales, mientras que las partículas muy pequeñas (inferiores a $0.1\text{ }\mu\text{m}$) son transportadas por movimientos brownianos y presentan un comportamiento similar a un gas, permaneciendo así en suspensión. Mediante el equipo de impactación por cascada, se pudieron capturar bioaerosoles con tamaños que varían entre 0,6 y 7 micras; cerca del 84% de las partículas transportadoras de bacterias tienen un diámetro aerodinámico promedio de $3,6\text{ }\mu\text{m}$ (Rosas et al., 2004) lo que valida la captura de los microorganismos estudiados y comprueba lo establecido por Reponen, T. A. et. Al (2001) y Koch, A. L. (1996) en relación a las bacterias, de las cuales se tiene información que los tamaños normalmente encontrados en los ambientes naturales se encuentran entre 0.3 y $3\text{ }\mu\text{m}$.

5.2. Clasificación de aerobacterias

A partir de la tinción Gram se apreció que la morfología predominante corresponde a los estreptococos (Ver figura 10), seguido de los bacilos y las estreptobacilos, mientras que las menores concentraciones corresponden a los cocos y las espiroquetas; el 3% del total de aerobacterias cuantificadas no pudo ser identificado. Así mismo, durante la jornada de la tarde se reportan mayores concentraciones de estreptococos (4473 UFC/m^3) como se

observa en la Tabla 7. En general, las mayores concentraciones de aerobacterias se presentaron en la Finca #1, en la jornada matutina.

Tabla 7. *Concentración de aerobacterias (según su forma) en UFC/m³.*

Microorganismo	Concentración de Aerobacterias por estación (UFC/m3)					
	Finca #1 Cuatro Bocas		Finca #2 Cuatro Bocas		Promedio	
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	UFC/m3	(%)
Cocos	2127	141	177	85	633	10
Estreptococos	4240	2106	1958	4473	3194	50
Bacilos	1675	1025	898	1223	1205	19
Estreptobacilos	664	686	700	1117	792	12
Espiroquetas	325	473	269	233	325	5
No identificados	382	148	127	177	208	3

Fuente: Autor

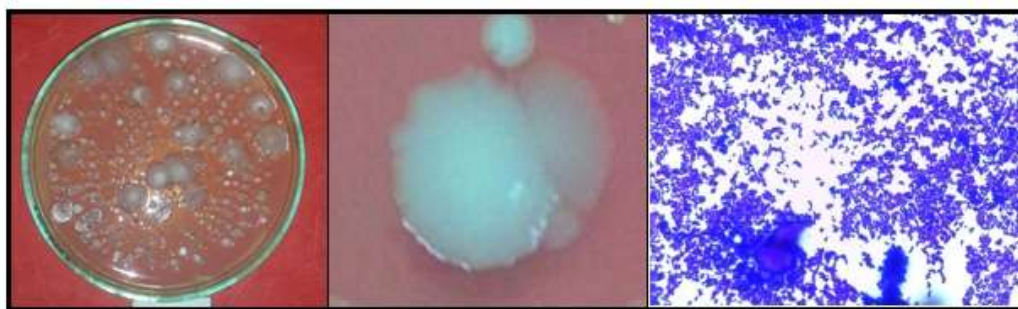


Figura 10: Especie predominante de aerobacterias. *Estreptococos*. Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por medio de la clasificación de bacterias, se comprueba que los estreptococos y los bacilos son la morfología predominante, la mayor concentración total de aerobacterias fue generada por Streptococos (3194 UFC/m³) y la menor concentración total, por espiroquetas (325 UFC/m³), lo cual se soporta con un estudio realizado por Camargo et al. (2011) al reportar un total de 77.58% de bacilos, y lo reportado por Miquel y Cambert (1901) quienes afirman que la mayoría de

bacterias presentes en el aire son saprofitas y proceden del suelo, encontrando una gran variedad, siendo las más frecuentes las bacterias cromógenas y los bacilos esporulados.

A partir de los resultados de la distribución porcentual por tipo de microorganismo, se observa una clara predominancia de las aerobacterias Gram positivas en todas las campañas de monitoreo, superando por más del 60% a las bacterias Gram negativas. El mayor porcentaje de aerobacterias Gram positivas se presentó en la Campaña 4, mientras que el menor, en la Campaña 1. Esto se da porque las Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas ya que su pared celular es más gruesa y está mayormente compuesta por peptidoglicano. (De la Rosa et al, 2002), además, Elasri, M. & R.V. Miller. (1999) aseguran que las bacterias Gram positivas (73-90%) son el grupo predominante entre las aerobacterias, siendo abundantes las Micrococaceas y los Staphylococcus; las Gram negativas representan una baja proporción de la población de las aerobacterias, donde los grupos representativos son las *Pseudomonas* (5.5- 10.7%). Ver Figura 11

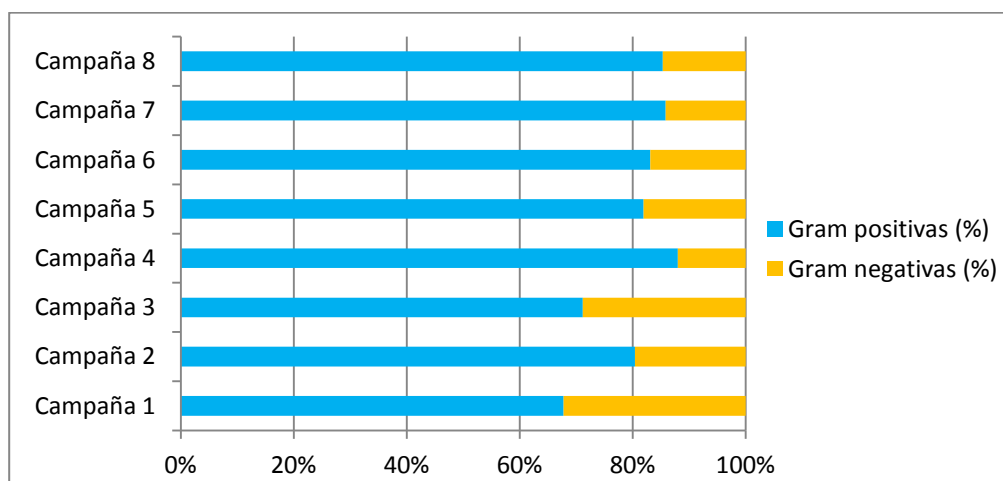


Figura 11. Distribución por campaña de los porcentajes de aerobacterias según su Gram.

Fuente: Autor.

Como se observa en la Figura 12, las mayores concentraciones de aerobacterias Gram positivas se presentan en la mañana, en las campañas 8 y 2, con valores de 940

UFC/m³ y 905 UFC/m³ respectivamente. Las menores concentraciones se dieron en la Campaña 5, en la jornada vespertina (104 UFC/m³) y en la misma jornada, en la Campaña 4 (115 UFC/m³). Con respecto a las aerobacterias Gram negativas, la mayor concentración se obtuvo en la Campaña 1, en la jornada matutina (229 UFC/m³) mientras que la menor, en la Campaña 6 (5 UFC/m³).

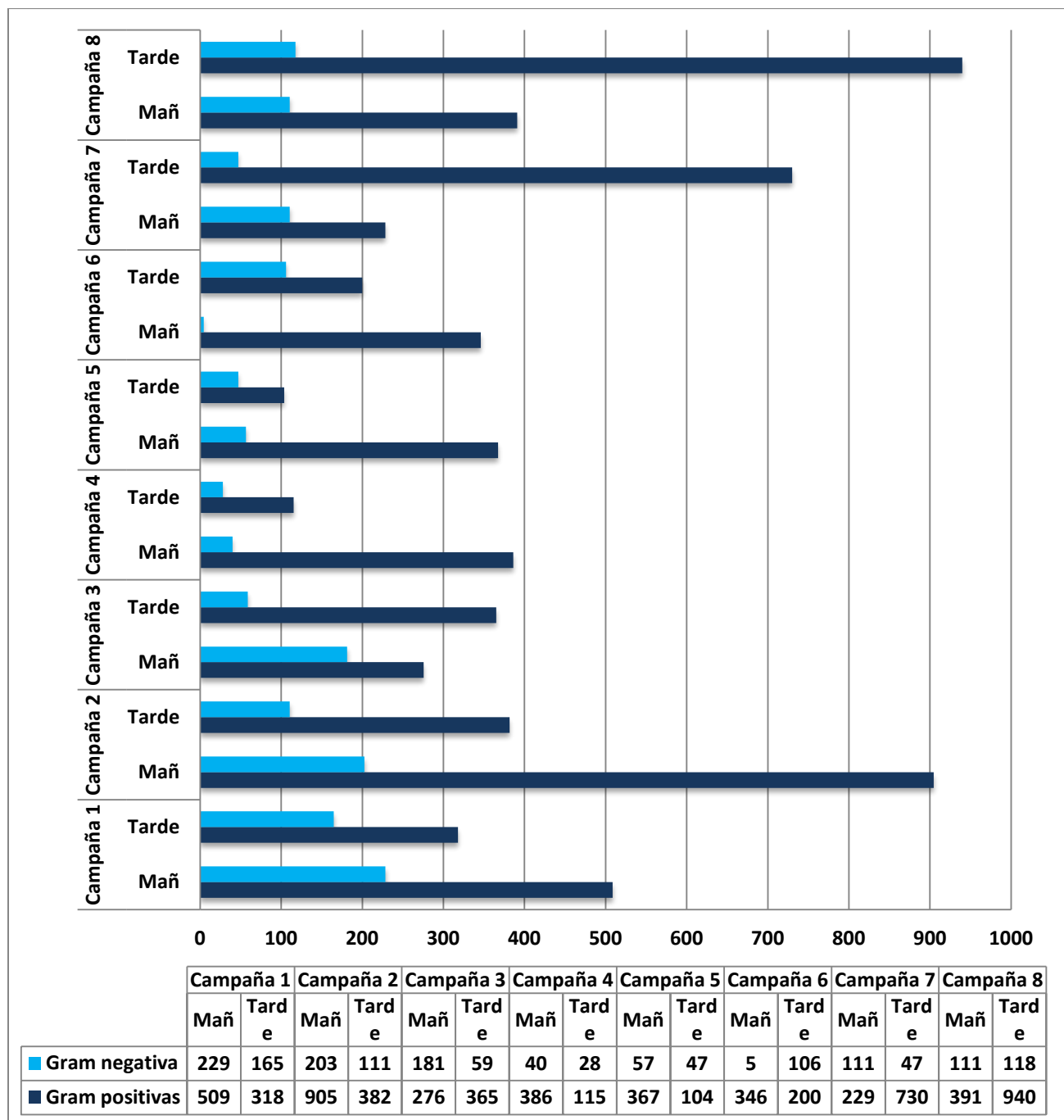


Figura 12. Distribución por campaña de la concentración de aerobacterias gran positivas y gran negativas. **Fuente:** Autor.

Las bacterias Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas ya que su pared celular es más gruesa y está mayormente compuesta por peptidoglicano, molécula polisacárida formada por la repetición de unidades alternativas de acetilglucosamina y ácido acetilmurámico, que forma capas adyacentes que se unen a través de puentes peptídicos que confieren a la pared bacteriana un soporte mecánico que protege a la bacteria de la lisis osmótica (De la Rosa et al, 2002). Esto puede apreciarse en los resultados del estudio realizado en el corregimiento de Cuatro Bocas, en donde se encontró que en cada campaña de monitoreo el porcentaje de aerobacterias Gram positivas superó con más del 60% al porcentaje existente de aerobacterias Gram negativas. Los porcentajes más elevados de estos microorganismos se presentaron en los meses de Septiembre y Noviembre, Campaña 4 (88,02%) y Campaña 7 (85,86%) respectivamente, mientras que los mayores porcentajes de aerobacterias Gram negativas se registraron en la Campaña 1 (Junio) (32,24%) y la Campaña 3 (Agosto) (28,80%) sin superar los porcentajes de concentración de las bacterias Gram positivas. En todas las campañas de monitoreo las bacterias predominantes fueron las Gram positivas en la jornada de la mañana; esto coincide con lo expuesto por Tong, Y. & Lighthart, B. 1997; Rosas et al., 2004 quienes explican que el tipo de aerobacterias varía con las horas del día. En la noche las Gram positivas presentan su concentración mínima (17%) y las Gram negativas su máxima (22%); durante el día se invierte el proceso con 35% y 12%, respectivamente, esto se da porque las bacterias no pigmentadas son sensibles a la radiación solar, por lo que se registra una mayor proporción de aerobacterias pigmentadas; además, Cox, C, 1995 menciona que las diferentes estructuras y compuestos de las bacterias no presentan la misma estabilidad termodinámica, siendo menos estables las membranas que los ácidos nucleicos; consecuentemente la molécula dañada dependerá de la energía del factor estresante. Tal es

el caso de la desecación que cuenta con menos energía que la radiación ultravioleta (UV), por lo que la primera afectará más fácilmente a las membranas.

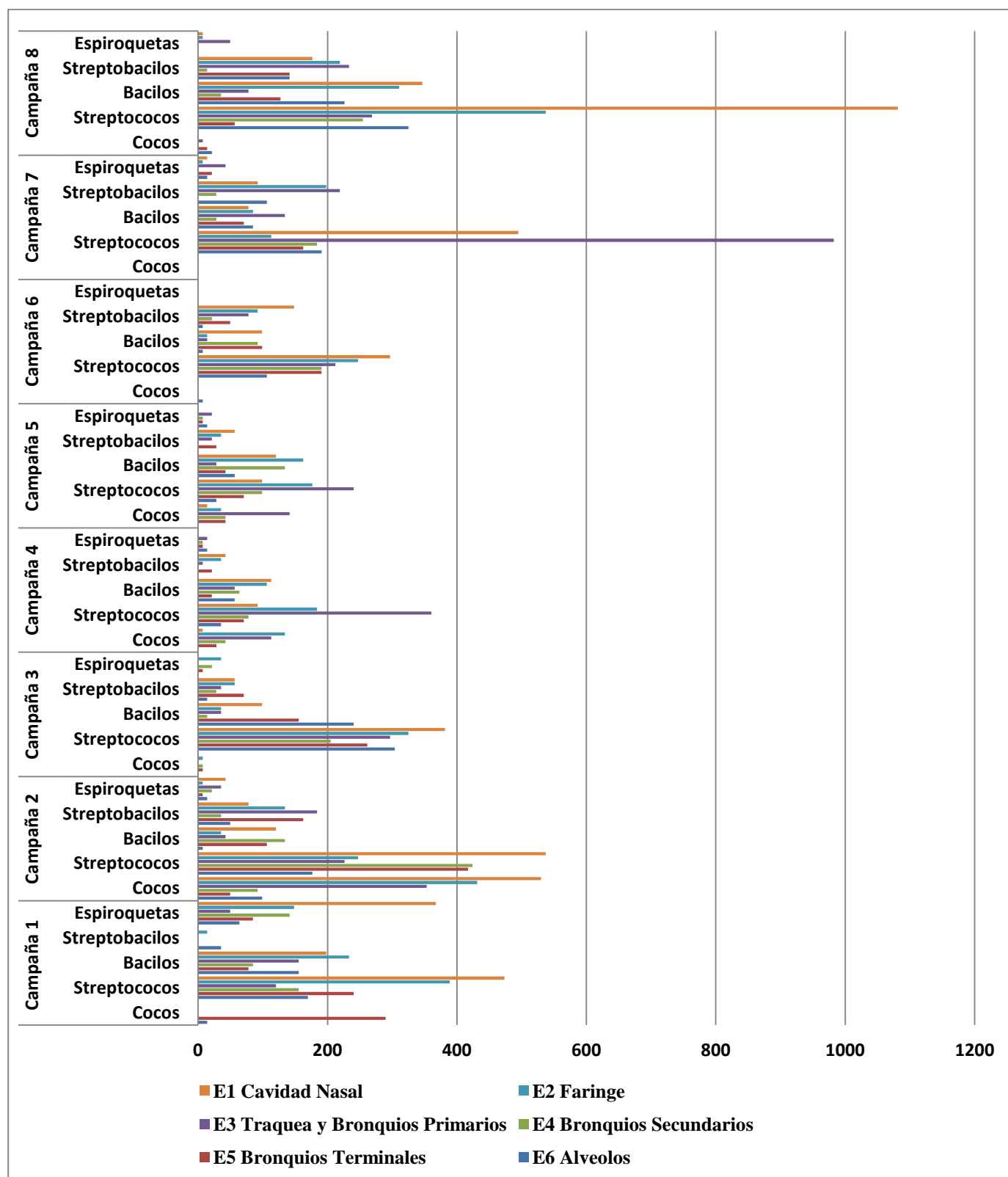


Figura 13. Distribución de la concentración de aerobacterias (según su morfología) por cada etapa del impactador. **Fuente:** Autor

Se estableció la concentración de aerobacterias (según su morfología) por cada etapa del impactador, las cuales simulan las diferentes cavidades del sistema respiratorio humano. (Figura 13) Las mayores concentraciones de aerobacterias se presentaron en la etapa correspondiente a la traquea y los bronquios primarios (Etapa 3) mientras que las menores, en los alveolos (Etapa 6). Se evidenció presencia de estreptococos y bacilos en todas las cavidades del sistema respiratoria en las 8 campañas de monitoreo, se destacan las máximas concentraciones de estreptococos (1081 UFC/m^3) y de bacilos (346 UFC/m^3) en los alveolos, ambas concentraciones se evidenciaron en la Campaña 8 (Enero de 2016). Esto concuerda con lo postulado por Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F., 2006, que las infecciones respiratorias más comunes son causadas por dos géneros de bacterias: *Streptococcus* y *Staphylococcus*; además, se fundamenta en la investigación desarrollada por Rodríguez et al, 2005 en donde, de las once especies de bacterias identificadas en el laboratorio, predominó el *Bacillus micoides*, considerado como de riesgo a la salud dada la gravedad de las enfermedades que se pueden desarrollar por la respiración de dichos organismos (Rodríguez et al, 2005), además, los bacilos esporulados, se encuentran asociados a especies patógenas de gran importancia como: *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Aeromonas salmonicida*, entre otras (Flores et al., 2007). Entre las enfermedades respiratorias generadas por bacterias, se pueden citar: enfermedad de los legionarios, fiebre de Pontiac, neumonía por *Mycobacterium avium-M. Intracellulare*, tos ferina; infecciones por estreptococos, neumonía estreptocócica y tuberculosis. (Prescott et al., 2004).

Las bacterias pueden generar afectaciones al ser humano por medio de endotoxinas, componentes metabólicos, familia de glicolípidos, encontrados en la superficie de bacterias Gram negativas que son ubicuas en el ambiente (Dutil et al., 2009), las cuales son

encontradas en ambientes indoor y outdoor, agua, suelo y comida. Para los seres humanos, la exposición a endotoxinas ocurre sobre una base diaria de bacterias infecciosas y no infecciosas en ambos ambientes. (Hurst et al., 2007).

El aporte de aerobacterias en Cuatro Bocas se debe a la abundante vegetación de la zona y de las emisiones provenientes del relleno sanitario ubicado a 2 km del corregimiento dado que la degradación y digestión de los desechos produce aerosoles que contienen bacterias, algunas de las cuales pueden ser patógenas como es el caso de los estreptococos y las coliformes fecales. El viento y las corrientes turbulentas de aire tienen enorme influencia sobre la distancia que recorren las partículas después de ser liberadas. (Rosas et al., 2004)

5.3. Análisis estadístico de los datos

Los resultados obtenidos se analizaron mediante un modelo de regresión, estos modelos permiten inferir la relación de las variables en la población, comprobando si la relación entre las variables que componen el modelo está de acuerdo con la propia forma del modelo, se estiman los parámetros de acuerdo con el criterio elegido mediante mínimos cuadrados y se verifica el ajuste del modelo para que tengan consistencia las inferencias que se saquen para la población. (Vargas, A., 1995).

En la investigación, se empleó un modelo de regresión lineal desarrollado a partir de las medidas de las condiciones meteorológicas y la concentración de microorganismos, teniendo en cuenta que las variables fueron significativas cuando en la tabla de ANOVA de la significancia de las variables se obtuvo un valor-p menor de 0,05.

Análisis de la relación entre las condiciones meteorológicas y la concentración de aerobacterias (Incluyendo dirección del viento)

En el análisis de correlación entre las variables meteorológicas con la concentración de aerobacterias, por campaña, se encontró diferencias estadísticamente significativas, con un valor- $p < 0,05$. Las variables: Campaña, Humedad Relativa, Estación, Temperatura, Dirección del Viento y Velocidad del Viento presentaron una correlación estadísticamente significativa con $P\text{-valor}=0$ la concentración

Tabla 9. *Análisis de Varianza para UFC/m³.*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	103306,	12	8608,84	4,52	0,0000
Residuo	1,45982E6	767	1903,29		
Total (Corr.)	1,56313E6	779			

Fuente: Autor

Tabla 10. *Suma de Cuadrados Tipo III.*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Campaña	49067,6	5	9813,53	5,16	0,0001
Estación	22605,4	1	22605,4	11,88	0,0006
Dirección del viento	44424,2	3	14808,1	7,78	0,0000
Temperatura (°C)	12022,9	1	12022,9	6,32	0,0120
Humedad (%)	20001,0	1	20001,0	10,51	0,0012
Velocidad del viento (m/s)	10648,7	1	10648,7	5,59	0,0180
Residuo	1,45982E6	767	1903,29		
Total (corregido)	1,56313E6	779			

Fuente: Autor

Las variables meteorológicas son estadísticamente significativas al presentar valores menores a los establecido para la prueba ($p < 0,05$); sin embargo, sólo explican el **6,60%** de la variabilidad presentada por la concentración. Esto indica que la interacción entre las variables no es suficiente para mostrar un modelo de predicción de crecimiento bacteriano

en el corregimiento, lo cual puede atribuirse a que el crecimiento bacteriano no sólo se ve influenciado por la humedad y velocidad del viento, sino que puede variar por otros factores climáticos como índice de calor, punto de rocío, bulbo húmedo, presión barométrica, altitud o altitud o incluso por factores microbiológicos dado que el tipo, especie o cepa de un microorganismo afecta a su supervivencia en el aire; cuando éstos son estresados por aerosolización, frío, calor, congelación, radiación, contaminación química o choque osmótico, pueden morir o ser dañados, aunque otros pueden permanecer aparentemente sin resentir sus efectos. La supervivencia de una bacteria al ser estresada, dependerá de su capacidad de reparar sus funciones biológicas afectadas (Rosas, et al., 2004).

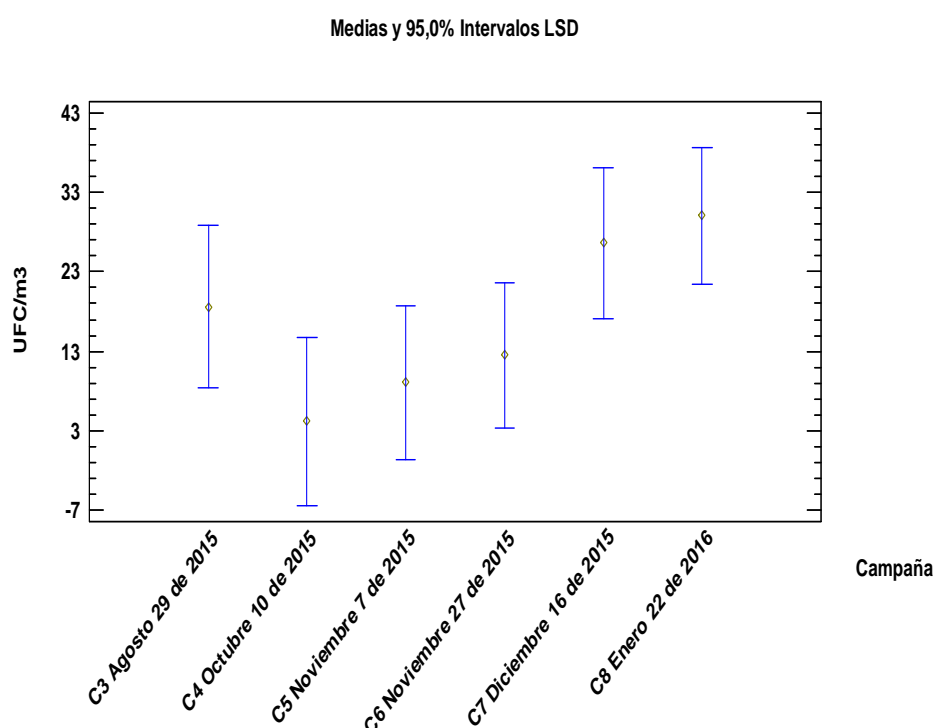


Figura: 14. Concentración por campaña. Modelo de regresión lineal. ANOVA. **Fuente:** Autor

Mediante el modelo de regresión lineal simple, se encontró además, que las concentraciones presentan diferencias significativas en relación a los meses monitoreados (campañas). Como se observa en la Figura 14, los rangos de las posibles concentraciones

que pueden presentarse para cada mes, son amplios; los rangos más cercanos se presentaron en las campañas 4, 5 y 6, mientras que la mayor concentración de aerobacterias se generó en la Campaña 8 (Enero de 2016), en este mes se presentaron los niveles más elevados de temperatura y estuvo influenciado por la época de sequía del departamento, esto va de la mano a lo reportado por Jones y Harrison (2003) quienes demostraron que la liberación de partículas aerotransportables se incrementan en días secos, conforme aumenta la temperatura y la velocidad del viento y se reduce la humedad relativa.

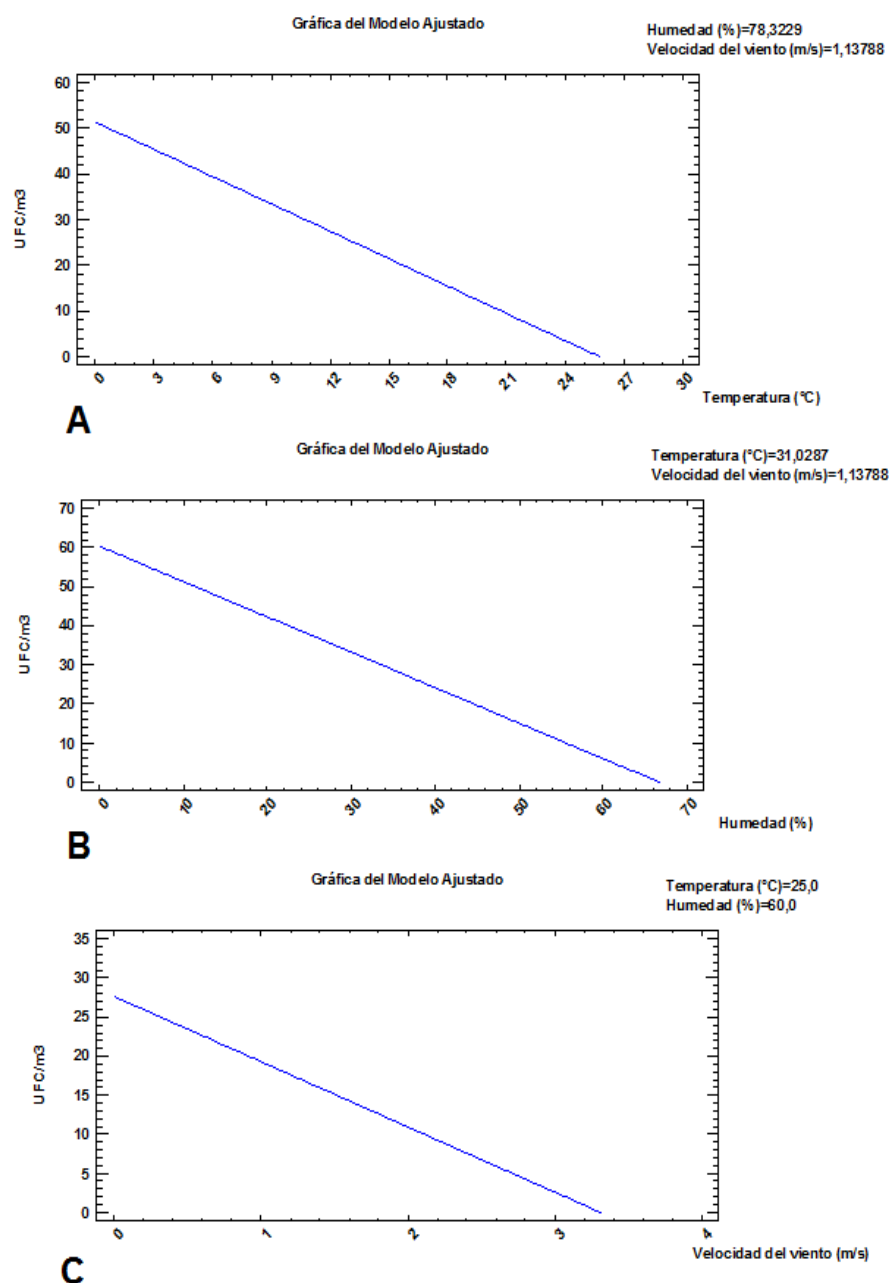


Figura 15: Concentración de aerobacterias en relación a las condiciones meteorológicas. **Fuente:** Autor

Puede observarse cómo afectan las variables climáticas (temperatura, humedad, velocidad del viento) la concentración de aerobacterias (Ver figura 15); en las campañas de monitoreo se reportó como a medida que aumentó la temperatura, el crecimiento bacteriano disminuyó; esta misma relación se presenta con la humedad relativa, lo cual se soporta con lo establecido por Olaya Escobar, D & Perez Rojas, F. (2006) quienes reportaron una correlación débil altamente significativa entre la concentración de microorganismos y temperatura y también una correlación débil de alta significancia con la humedad relativa (relación inversa), comprobando que la disminución de la humedad relativa aumenta la viabilidad de los microorganismos en el aire; además, según Rosas et al. (2004) los sistemas climáticos con fuertes temperaturas pueden incrementar la concentración, mientras que con la precipitación suelen disminuir; así mismo, concuerda con el estudio desarrollado por Carmargo, 2011, quien afirma que las características del aire como presencia de luz solar (radiación UV), poca humedad, bajas velocidades del viento y la carencia de alimento, resultan en un ambiente estresante para los microorganismos, razón por la cual se afirma que es un medio no muy eficaz para su diseminación, limitando generalmente la supervivencia de los aerosoles biológicos.

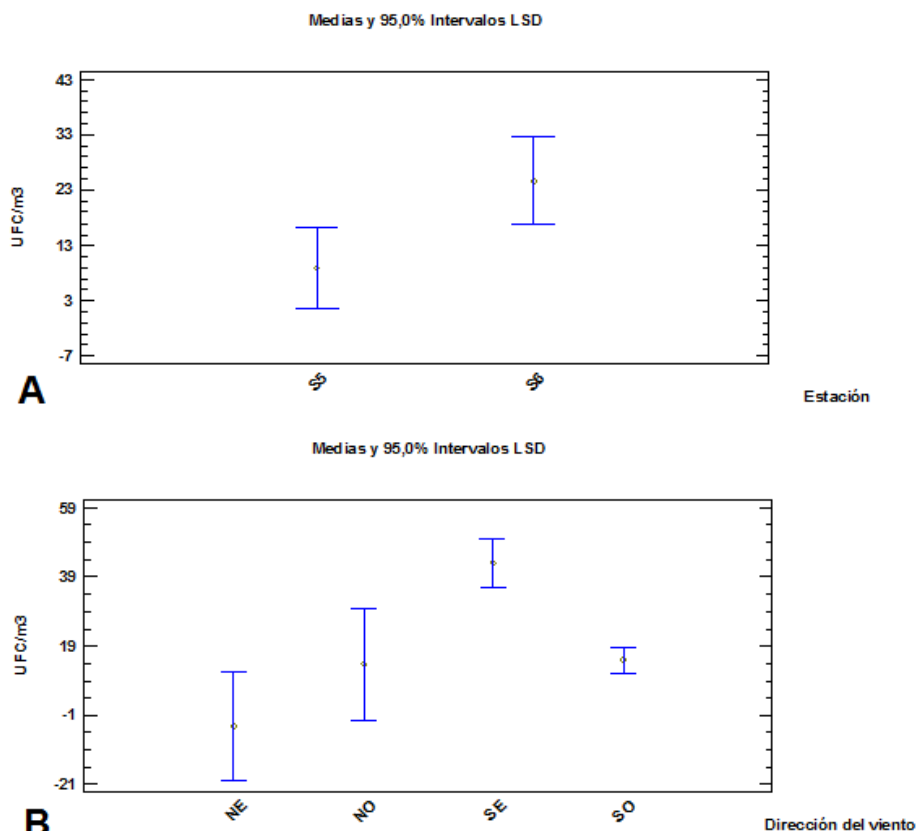


Figura 16: Concentración de aerobacterias en relación a las a las estaciones y la dirección del viento. **Fuente:** Autor

De acuerdo a las concentraciones reportadas por estación, en la Finca #2 (S6) se presentó el mayor crecimiento bacteriano con un amplio rango de concentración según el modelo de regresión lineal (Figura 16 A), esto se le puede atribuir a la vegetación presente en la Finca #2 dado que las plantas, al ser un hábitat natural de muchos microorganismos (saprobioso patógenos), entre los que se incluyen las bacterias, contribuyen de manera importante a incrementar el número de éstas suspendidas en el aire, por la acción del viento y de la lluvia, así como por el roce entre las mismas hojas. (Butterworth, J. & McCartney, A, 1991). La superficie de las hojas se considera como un medio de colonización hostil para las bacterias, debido a los frecuentes cambios en la disponibilidad de agua, incidencia de la radiación y baja disponibilidad de nutrimentos, por lo que dichas cepas pueden servir como fuente de genes que codifiquen para tolerar condiciones de estrés. Esto sugiere que la

superficie de las hojas puede considerarse un área importante para la diseminación horizontal de genes y por lo tanto un sustento para la diversificación microbiana. (Lindow, S.E. & Leveau, J.H., 2002; Butterworth, J. & McCartney, H. A., 1991.)

Además de considerar las concentraciones de acuerdo a las estaciones de monitoreo, se encontró una relación entre estas con la dirección del viento (Figura 16 B), según esto, la mayor concentración de aerobacterias se presentó hacia Sur Este (SE), esto se da porque la dispersión de las bacterias se ve favorecida durante las primeras horas de la mañana en días soleados, cuando las hojas están secas y la velocidad del viento supera 1 ms^{-1} , lo que permite que se efectúe el transporte de alrededor de $100 \text{ UFCm}^3\text{S}^{-1}$; sin embargo, esta concentración puede ser muy variable. (Lindemann, J. & Upper, C., 1985) Las bacterias pueden permanecer suspendidas en el aire durante varios minutos antes de ser depositados en algún lugar, cuando son depositadas en el suelo, pueden ser nuevamente suspendidas en la atmósfera, siempre que la velocidad del viento sea mayor a 0.2 ms^{-1} , y el suelo se encuentre lo suficientemente seco. (Rosas et al., 2004).

En general, las partículas predominan en las partes bajas de la atmósfera cerca de las fuentes locales de generación. Sin embargo, algunas esporas de hongos y bacterias pigmentadas se han recuperado a 48-77 km de altura. (Rosas et al., 2004). Entre los factores que contribuyen a la generación y dispersión de aerobacterias en el corregimiento está la localización de un relleno sanitario y su proximidad al núcleo urbano de Cuatro Bocas como posible receptor (Millner et al., 1994). Lo anterior supone que el transporte de aerobacterias se puede presentar desde unos pocos metros hasta varios kilómetros, por lo que la emisión de bioaerosoles desde el relleno sanitario cercano, puede generar aumento de las concentraciones de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas.

La incidencia directa de las emisiones en las comunidades aledañas se puede dar por dos vías, la primera de ellas es la que presenta el estudio desarrollado por Sánchez-Monedero et al. (2006) Quienes demuestran que las concentraciones de bioaerosoles no presentaron mayor diferencia a una distancia de referencia de 200 m, manifestando que no era suficiente ésta para reducir los microorganismos a los niveles de fondo; la Agencia de Medio Ambiente recomienda una distancia límite de al menos 250 m, para garantizar que las plantas de compostaje no tengan ningún impacto adverso en la salud de las personas que viven en el área de influencia.(Environment Agency, (2001). Sin embargo, otros autores han medido concentraciones en el aire superior a la de fondo a una distancia de 500 m o más de los sitios de compostaje. (Miller, et. al, 1994; Wathes, C.M., 1998; Schlegelmilch et al., 2005) reportaron patógenos emitidos de criaderos aviales a más de 3 km de distancia, demostrando que el radio de acción en el que se puede obtener un decaimiento de la concentración de los aerosoles biológicos de forma natural puede requerir una distancia amplia.(Schlegelmilch et al., 2005). La segunda ruta de dispersión de los aerosoles biológicos generados en las plantas de compostaje se realiza por medio de vectores, siendo los más representativos los empleados de las fábricas y en menor probabilidad las comunidades aledañas, creando nuevos focos epidemiológicos en lugares donde los impactos son muy bajos, convirtiéndose en un serio problema de salud pública. (Camargo et. at, 2011)

5.4.Distribución espacio-temporal de aerobacterias

Las Figuras 17 y 18 presentan la distribución espacial y temporal de aerobacterias generadas en el corregimiento de Cuatro Bocas, determinada a partir de los resultados obtenidos en las estaciones monitoreadas durante cada campaña y jornada. Los planos de isoconcentración presentan en las horas de la mañana, a la estación ubicada en la Finca #1 con los valores más elevados de aerobacterias; las campañas 1 y 3 presentaron una distribución similar, con las mayores concentraciones en la Finca #1 (S1) en la jornada matutina, mientras que en el resto de campañas, se presenta una variación en las concentraciones en cada estación de monitoreo, esto puede ser causado por la variación en la estabilidad atmosférica del corregimiento y la presencia de abundante vegetación en los alrededores del lugar. La distribución espacial de los datos relacionados con la ubicación de las estaciones permite observar puntos aislados de emisión de aerobacterias, como también un orden específico de dispersión de aerobacterias en la 1ª y 3ª campaña en ambas jornadas.

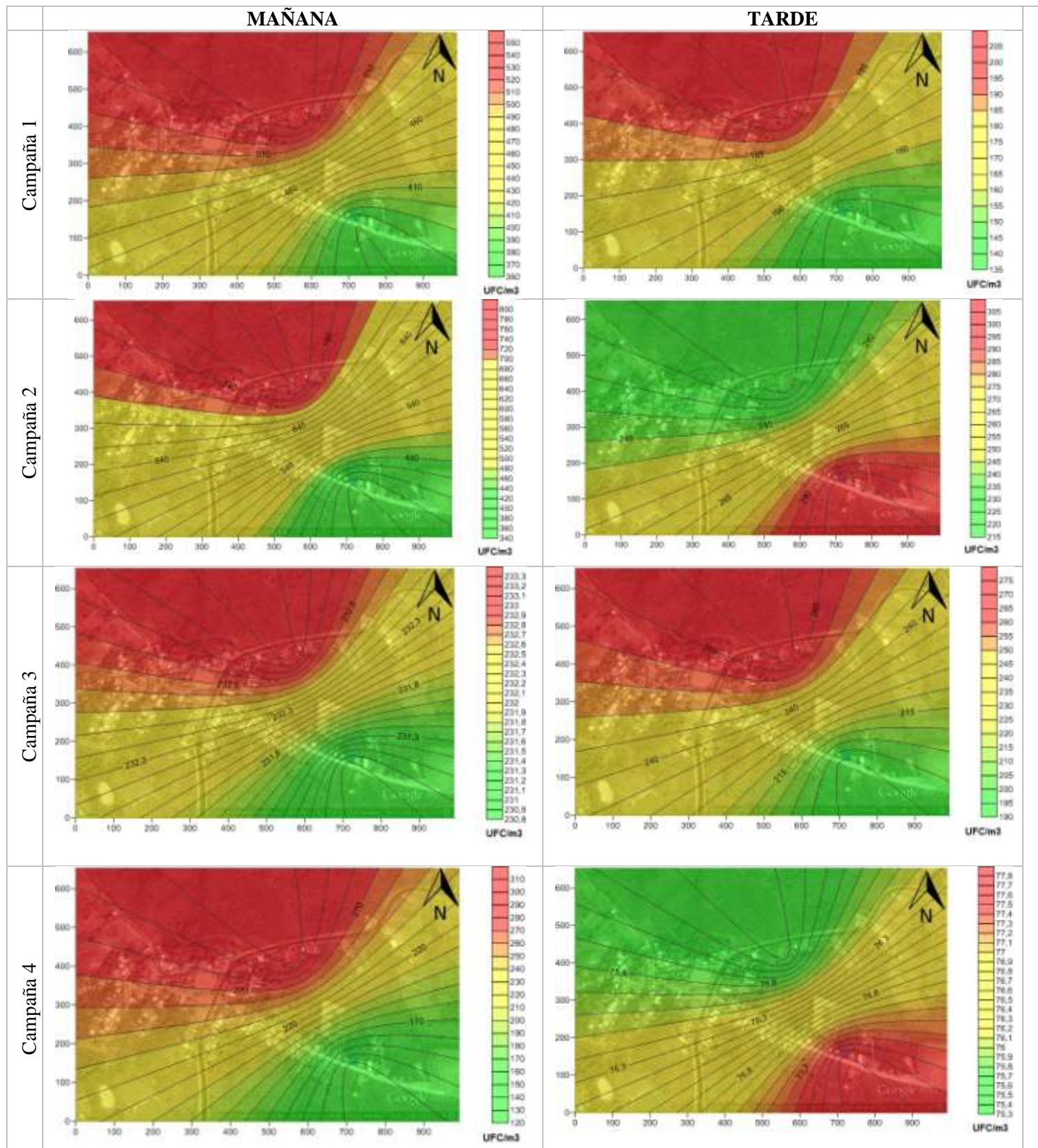


Figura 17: Distribución espacio-temporal de aerobacterias por jornada. Campaños 1-4. S1: Finca #1 S2: Finca #2. **Fuente:** Autores

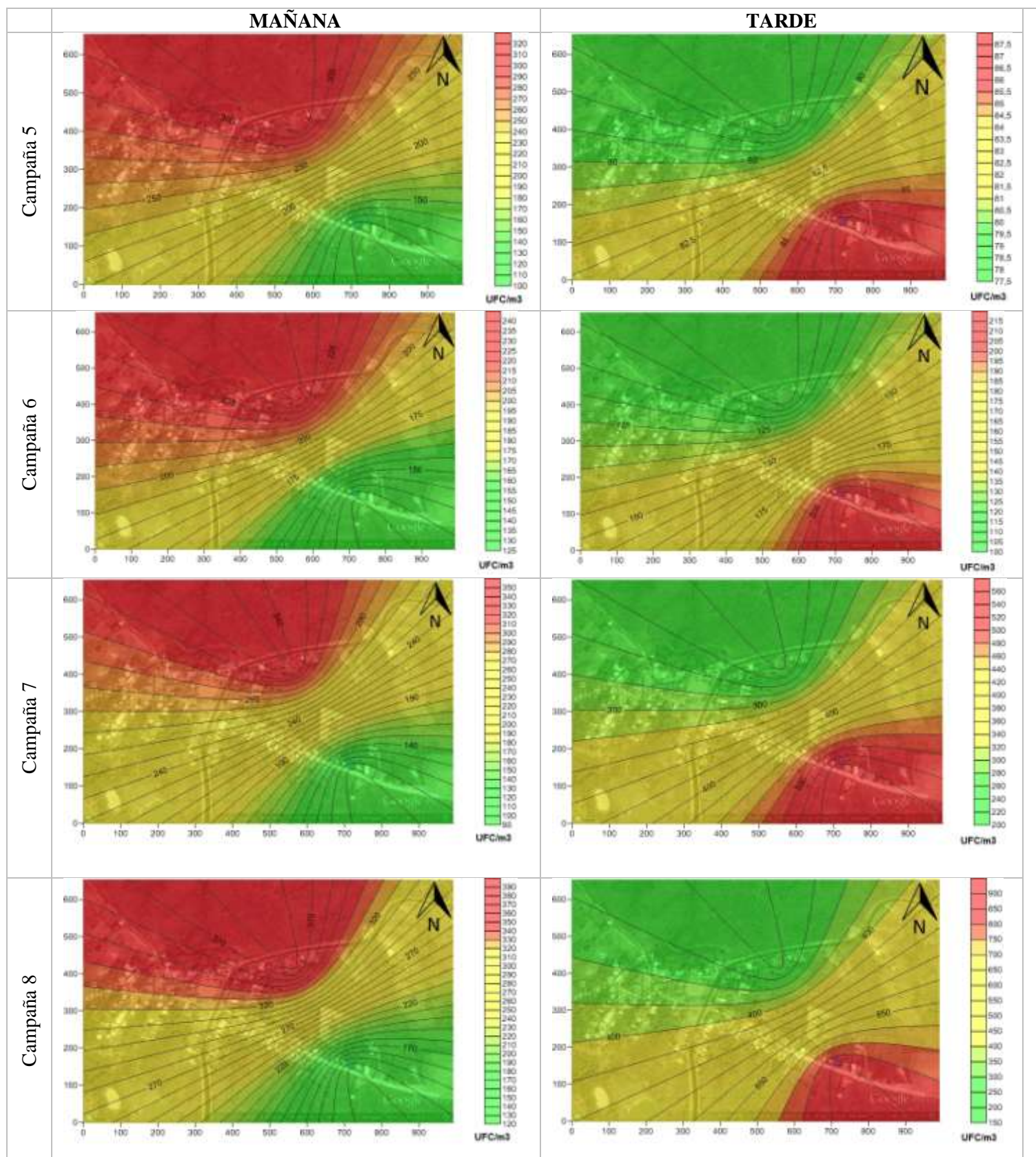


Figura 18: Distribución espacio-temporal de aerobacterias por jornada. Campaños 5-8. S1: Finca #1 S2: Finca #2. **Fuente:** Autores

La distribución espacial y temporal de la concentración de las aerobacterias del corregimiento de Cuatro Bocas se ve influenciada por las condiciones meteorológicas del área de estudio, confirmando lo expuesto por Rosas et al., 2004 y Vélez-Pereira & Camargo, 2009 quienes relacionan la distribución espacial de las aerobacterias con los flujos y la modulación meteorológica la cual se ve afectada por procesos de deposición húmeda y seca, viento y corrientes de convección. Por esta complejidad es natural esperar que la concentración de las aerobacterias presente una gran variabilidad, tanto diurna como estacional.

6. Conclusiones

El estudio realizado permitió evaluar el comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas. A nivel general, las concentraciones de aerobacterias se encuentran por debajo de los valores máximos reportados por otras investigaciones; sin embargo, las concentraciones del corregimiento pueden ser influenciadas por la emisiones de bioaerosoles desde el relleno sanitario cercano, teniendo en cuenta que la generación de estos microorganismos se produce durante toda el ciclo de vida de los residuos orgánicos, desde su origen y tratamiento hasta su disposición final.

Las mayores concentraciones de aerobacterias se reportaron en la Campaña 8 debido a que la liberación de partículas aerotransportables se incrementan en días secos, conforme aumenta la temperatura y la velocidad del viento y se reduce la humedad relativa, las máximas concentraciones fueron generadas por estreptococos (3194 UFC/m³) y las menores por espiroquetas (325 UFC/m³). Las especies más representativas fueron las aerobacterias Gram positivas; la mayor concentración de aerobacterias Gram positivas se

presentó en la Campaña 8 (940 UFC/m³) en la jornada de la tarde. En todas las campañas la presencia de este tipo de aerobacterias superó por más del 60% a las Gram negativas.

La predominancia de aerobacterias respirables en la presente investigación coincide con otros estudios realizados, en los cuales se afirma que la mayor tendencia a la acumulación de aerobacterias se evidencia en las etapas 3, 4, 5 y 6 del impactador; las mayores concentraciones de estreptococos fueron reportadas en la Etapa 6 del impactador; confirmando la presencia de aerobacterias que resultan perjudiciales a la salud de los habitantes del corregimiento, debido a la acumulación de las partículas en los pulmones, bronquios y alvéolos, pudiendo provocar diversas enfermedades alérgicas, respiratorias crónicas e infecciosas graves.

La distribución espacio-temporal de la concentración aerobacterias indicó que ésta puede verse influenciada por condiciones meteorológicas como la humedad y la temperatura, tal como se evidenció mediante el análisis estadístico, en donde se comprobó que variables climáticas son estadísticamente significativas; sin embargo, sólo explican el **6,60%** de la variabilidad presentada por la concentración. Esto indica que la interacción entre las variables no es suficiente para mostrar un modelo de predicción de crecimiento bacteriano en el corregimiento, lo cual puede atribuirse a que éste no sólo es influenciado por factores climáticos sino por factores microbiológicos.

7. Recomendaciones

Se recomienda desarrollar más investigaciones en el área de estudio, y evaluar las concentraciones de bioaerosoles por un periodo superior a un año, agregando factores climáticos como índice de calor, punto de rocío, bulbo húmedo, presión barométrica, altitud

o altitud o incluso factores microbiológicos dado que el tipo, especie o cepa de un microorganismo afecta a su supervivencia en el aire, con el fin de que dichos datos sean útiles al momento de implementar medidas mitigación y pueda desarrollarse un modelo estadístico de predicción de crecimiento bacteriano para el corregimiento.

Es conveniente además, desarrollar estudios epidemiológicos en todo el área correspondiente al corregimiento de Cuatro Bocas, para poder determinar las afectaciones respiratorias existentes, dado que los resultados obtenidos mediante el impactador de cascada de 6 etapas, evidenció la penetración de aerobacterias (estreptococos) en las diferentes cavidades del sistema respiratorio humano, especialmente en los alveolos

En relación a la determinación del tipo de aerobacterias, es necesario emplear kits de identificación luego de llevar a cabo la tinción Gram, con el fin de identificar especies de aerobacterias que pueden causar enfermedades respiratorias al ser humano.

Finalmente, es necesario elaborar estudios que permitan evaluar el comportamiento de bioaerosoles en ambientes como estaciones de aguas residuales, plantas de compostaje, rellenos sanitarios, con el fin de realizar comparaciones de las concentraciones de estas partículas y establecer niveles normales y límites permisibles de exposición en ambientes outdoor o el ambientes relevantes del departamento del Atlántico.

8. Bibliografía

1. Almaguer, M. R. (2008). Perspectivas de los estudios aeromicológicos para la protección del cultivo del arroz. *Revista De Proteccion Vegetal*, 23(3), 137-143.
2. Anderson, M. (2005). *Enfermedades de origen alimentario*.
3. Arenas, R. (2011). *Micología médica ilustrada*. México: Mc Graw Hill.
4. Atlas, R., & Bartha, R. (2002). *Ecología microbiana y microbiología ambiental*. España : Addison Wesley.
5. Beaumont, F. (1988). Clinical manifestations of pulmonary Aspergillus infections Mycoses. 31, 15–20.
6. Bierman, J., Merk, H., Werhmann, W., Klimek, L. & Wasem, J. . (2013). Allergic disorders of the respiratory tract – endings from a large patient sample in the German statutory health insurance system. 22 (6) 366–73.
7. Burth, C. (1909). Experimental test of general Inteligence. *British J Psychol*, 3: 94-177.
8. Butterworth, J. & McCartney, H. A. (1991). The dispersal of bacteria from leaf surfaces by water splash. *Journal of Applied Bacteriology* , 71: 484-496.
9. Campo, M. & González, E.(2016). Evaluación de bioaerosoles desde un relleno sanitario en el departamento del Atlántico. Universidad de la Costa, CUC. Tesis no publicada.
10. Camargo, Y. . (2011). Biofiltración: Tecnología Aplicada a Contaminantes Líquidos y Gaseosos. *Memorias, Universidad del Magdalena, Grupo GIMSA*.
11. Constitución Política de Colombia (1991).
12. Cox, C. S., & Wathes, C. M. (1995). *Bioaerosols Handbook*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers.
13. Cutnell, J. D., & Johnson, K. W. (1995). *Physics*. John Wiley and Sons.
14. De la Rosa, M. C., Mosso, M. A., & Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, Pág. 375-402.
15. Decreto 1713, Diario Oficial de la República de Colombia. Bogotá (6 de Agosto de 2002).

16. Di Giorgio, C., Krempff, A., Guiraud, H., Binder, P., Tiret, C., & Dumenil, G. (1996). Atmospheric pollution by airborne microorganisms in the city of Marseilles. *Atmospheric Environment*, 30: 155-160.
17. Dimmock, N. L. (1967). Differences between the thermal inactivation of picornaviruses at “high” and “low” temperatures. *Virology* 31: 338– 353.
18. Elasri, M., & Miller, R. V. (1999). Study of the response of a biofilm bacterial community to UV radiation. *Applied Environmental Microbiology*, 65: 2025-31.
19. Environment Agency. (Agosto de 2002). *Technical guidance on composting operations, Draft for external consultation*. Obtenido de [www.environment-agency.gov.uk=commodata=105385=compostin.pdf](http://www.environment-agency.gov.uk/commodata=105385=compostin.pdf).
20. EPA. (2003). *A standardized EPA protocol for characterizing indoor air quality in large office buildings*. . US Environmental Protection Agency.
21. Fernández, R., Lefler, E., García, J., & Egusquiaguirre, C. (1992). Composición iónica del aerosol atmosférico en áreas industriales del norte de España. *Rev San Hig* , 66: 49-64.
22. Gama, M. (2007). *Biología I. Un enfoque constructivista*. México: Pearson.
23. García, V. (s.f.). *Introducción a la Microbiología*. Editorial Universidad Estatal a Distancia, EUNED.
24. Gilbert, E. J., & Ward, C. W. (1999). Standardised protocol for the sampling and enumeration of airborne microorganisms at composting facilities: The Composting Association, Coventry, UK. 30.
25. Gnanasekharan, V., & Floros, J. D. (1995). A theoretical perspective on the minimum leak size for package integrity evaluation. *B.A., & Harper, C.L. (eds.)*.
26. Grinn-Gofroń, A., Strzelczak, A., & Wolski, T. (2011). The relationships between air pollutants, meteorological parameters and concentration.n of airborne fungal spores. *Environmental Pollution. Volume 159, Issue 2*, 602–608.
27. Heyman, D. (2005). *El control de las enfermedades transmisibles*. . Asociación Estadounidense de Salud Pública.
28. Huang, C. Y., Lee, C. C., Li, F. C., Ma, Y. P., & Su, H. (2002). The seasonal distribution of bioaerosols in municipal landfill sites: a 3-yr study. *Atmospheric Environment*,, 36, 4385–4395.
29. IDEAM. (2010). *Atlás climatológico de Colombia*.

30. IDEAM. (2015). *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá, D.C.
31. IDEAM. (2005). *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá, D.C. Págs. 1-219.
32. Ingraham, J., & Ingraham, C. (1998). *Introducción a la microbiología*. Barcelona: Reverté S.A.
33. Jones, A. M., & Harrison, R. M. (2003). The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentration. *Science Direct, Elsevier*.
34. Lee, J.-H., & Jo, W.-K. (2005). Characteristics of indoor and outdoor bioaerosols at Korean high-rise. *Environmental Research* 101, 11-17.
35. Lee, T., Grinshpun, A., Martuzevicius, D., Adhikari, A., Crawford, M., Luo, J., & Reponen, T. (2008). Relationship between indoor and outdoor bioaerosols collected with a button inhalable aerosol sampler in urban homes. 37-47.
36. Ley 99, Diario Oficial de la República de Colombia. Bogotá (22 de Diciembre de 1993).
37. Lidwell, O. M. (1990). The microbiology of air. *Principles of bacteriology, virology and immunity*.
38. Lighthart, B. (2000). Mini-review of the concentration variations found in the alfresco atmospheric bacterial populations. *Aerobiologia*, 7-16.
39. Lindemann, J. & Upper, C. (1985). Aerial dispersal of epiphytic bacteria over bean plants. *Applied Environmental Microbiology*, 50: 1229-1232. American Society of Microbiology, EE.UU.
40. Lindow, S. E. y J. H. Leveau. (2002). Phyllosphere microbiology. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(3): 238-243. .
41. Llamazares, R., Esquivel, G., & Merino, L. (2013). Hongos levaduriformes de interés médico en ambientes de aserraderos. *XIX Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas* . Argentina.
42. Madigan, M., & Martinko, J. (1998). *Brock. Biología de los microorganismos*. Madrid: Prentice Hall.
43. Malmros, P. (1990). *Problems with the working environment in the solid waste treatment*. Denmark: The National Labour Inspection of Denmark, report #10/1990.
44. Merck Millipore. (2015). *Technical Data Sheet GranuCult. Plate Count Agar*. Merck Millipore.

45. Miller, C., & Palenik, C. (2000). Control de la infección y manejo de materiales peligrosos para el equipo de profesionales de salud dental.
46. Millner, P. D., Olenchok, S. A., Epstein, E., Rylander, R., Haines, J., Walker, J., . . . Maritato, M. (1994). Bioaerosols associated with composting facilities. *Compost Science & Utilization*, 2(4):6-57.
47. Millner, P.D., Olenchok, S.A., Epstein, E., Rylander, R., Haines, J., Walker, J., Ooi, B.L., Horne, E. and Maritato, M. (1994). Bioaerosols associated with composting facilities. *Compost Sci Util*, 2(4): 6–57. .
48. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). Reglamento Técnico. En *Título F Sistemas de Aseo Urbano*.
49. *Ministerio del Medio Ambiente*. . (2002). Guía Ambiental para rellenos sanitario. Bogotá, D.C.
50. Miquel, P., & Cambert, R. (1901). *Traité de bacteriologie pure et appliquée*. Paris: Ed. Masson et Cia, Paris.
51. Mohr, A. J. (1997). Fate and transport of microorganisms in air. *Manual of environmental microbiology*. Ed. American Society for Microbiology.
52. (s.f.). *Monitoreo Ambiental. Estudios en México: relleno sanitario de Ojinaga*. México.
53. Montoya, H. (2008). *Microbiología básica para el área de la salud y afines*. Medellín: Universidad de Antioquia.
54. Murray, P., Rosenthal, K., & Pfaller, M. (2009). *Microbiología médica*.
55. Negroni, M. (2009). *Microbiología Estomatológica: fundamentos y guía práctica*. . Editorial Médica Panamericana.
56. Nieguitsila, A., Arne, P., Durand, B., Deville, M., Chermette, R., Cottenot-Latouche, S., & Guillot, J. (2010). Relative efficiencies of two air sampling methods and three culture conditions for the assessment of airborne culturable fungi in a poultry farmhouse in France. *Environmental Research*, 248–253.
57. Noguera, K., & Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en latinoamérica: caso colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 34 (132): 347-356.
58. NTP299. (1997.). *Método para el recuento de bacterias y hongos en aire*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

59. NTP409. (1997). Contaminantes biológicos: criterios de valoración. *España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.*
60. Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). *Guía de calidad del aire - actualización mundial 2005.*
61. Olaya Escobar, D., & Pérez Rojas, F. (2006). *Caracterización cualitativa - cuantitativa de bioaerosoles relacionados con factores meteorológicos y material particulado en Puente Aranda.* Bogotá: Universidad De La Salle.
62. OPS. (2008). *Organización Panamericana de la Salud.*
63. Organización Panamericana de la Salud, O. (2008). *Manual para el diagnóstico bacteriológico de la tuberculosis. Normas y guía técnica.*
64. Pankhurst, L., Akeel, U., Hewson, C., Maduka, I., Pham, P., Saragossi, J., & Lai, K. (2010). Understanding and mitigating the challenge of bioaerosol emissions from urban community composting. *Atmospheric Environment*, 85-93.
65. Panther, B., Hooper, M. A., & Tapper, N. J. (1999). A comparison of air particulate matter and associated polycyclic aromatic hydrocarbons in some tropical and temperate urban environments. *Atmos. Environ.*, 33: 4087-4099.
66. Pérez-Trigo, M. . (s.f.). La aerobiología y el contenido polínico de la atmósfera. *Revista U Ciencia.*
67. Potts, M. (1994). Desiccation tolerance of prokaryotes. *Microbiological Reviews*, 58, 755:805.
68. Poulsen, O. M., Breum, N. O., & Ebbehøj, N. (1995). Collection of domestic waste. . *Review of Occupational Health Problems and their possible causes. Science of the Total Environment*, 170 (1).
69. Rankonen, P., Ettala, M., & Loikkanen, L. (1987). Working conditions and hygiene at sanitary landfills in Finland. *Ann. Occup. Hyg.*, 31: 505-513.
70. Real Decreto 664. Guía Técnica para la Evaluación y Prevención de los Riesgos Relacionados a la Exposición a Agentes Biológicos. (1997.). *España.*
71. Recer, G.M., Browne, M.L., Horn, E.G., Hill, K.M., & Boehler, W.F. (2001). Ambient air levels of *Aspergillus*. *Aerobiology*, 17:99-108.
72. Reinthaler, F. F., Hass, G., Feierl, G., Schlacher, R., Picler-Semmelrock, F. O., Kock, M., . . . Marth, E. (1999). Comparative investigations of airborne culturable

- microorganisms in selected waste treatment facilities and neighbouring residential areas. *Zenthl. Hyg. Umweltmed.* , 202: 1-17.
73. Rendueles, E. M. (2001). *Caracterización aeropalinológica del bioaerosol atmosférico de la ciudad de Cartagena*. Cartagena.
 74. Resolución 1541, Diario Oficial de la República de Colombia. (12 de Noviembre de 2013).
 75. Ríos Yuil, J. (2011). La aeromicrología y su importancia para la medicina. . *Revista médico científica ISSN 2218-8266.*, Volumen 24(2):28-42.
 76. Rodríguez, S., Sauri, M., Peniche, I., Pacheco, J., & Ramírez, J. (2005). Aerotransportables viables en el área de tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales de Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 19-29.
 77. Rodríguez-Pimentel, R., Rodríguez-Pérez, S., Monroy-Hermosillo, C., & Ramírez-Vives, F. (2015). Producción de metano a partir de la mezcla del lixiviado de residuos sólidos urbanos y el agua residual municipal. *Revista Cubana de Química*, Págs. 243-251.
 78. Rosas, I., Gravioto, A., & Ecurra, E. (2004). *Microbiología Ambiental*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales.
 79. Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., & Cayuela, M. (2006). Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos orgánicos. *Revista Ingeniería*, 39-47.
 80. Schlegelmilch, M., T. Herold, J. Streese, A. Hensel, and R. Stegmann. (2005). The potential to reduce emissions of airborne microorganisms by means of biological waste gas treatment systems. *Waste Manag.* , 25:955–964.
 81. Shooter, D., & Brimblecombe, P. (1993). Environment, Monitoring and Assessment. *Risk Management*: 25, 159-168 .
 82. Siersted, H.C., & Gravesen, S. (1993). Extrinsic allergic alveolitis after exposure to the yeast *Ehodontorula rubra*. *Allergy* 48, 298–299.
 83. Sigsgaard, T., Malmros, P., Nersting, L., & Petersen, C. (1994). Respiratory disorders and atopy in Danish refuse workers. *American journal of respiratory critical care medicine*, 149, 1407-1412.
 84. Stetzenbach, L. D. (2002). Introduction to aerobiology. En: “Manual of Environmental Microbiology”. *2nd Edition (Ed: C.J. Hurst)*. , ASM Press, Washington, 801-813.

85. Swan, J. R., Kelsey, A., Crook, B., & Gilbert, E. J. (2003). Occupational and Environmental Exposure to Bioaerosols From Composts and Potential Health Effects – a Critical Review of Published Data. *Sudbury: Health & Safety Executive*.
86. Sykes, P., Jones, K., & Wildsmith, J. D. (2007). Managing the potential public health risks from bioaerosol liberation at commercial composting sites in the UK: an analysis of the evidence base. *Resour. Conserv. Recycl.* , 52:410.
87. ThermoFisherScientificInc. (2007). *Instruction Manual. Six and Two Stage Viable Samplers*. Part Number 100072-00 .
88. Tortora, G., Funke, B., & Case, C. (2007). *Introducción a la microbiología*. Editorial Médica Panamericana.
89. Tubará, A. d. (2012). *tubara-atlantico.gov.co*. Obtenido de <http://www.tubara-atlantico.gov.co>
90. UNEP/WHO . (1994). Passive and Active Sampling Methodologies for Measurement of Air Quality. *GEMS/AIR Methodology Reviews Vol. 4.WHO/EOS/94.4. UNEP/GEMS/94.A.5. UNEP Nairobi*.
91. Valenzuela, C. (1995). *Química general: introducción a la química teórica*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
92. Vargas, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. La Mancha: Universidad de Castilla.
93. Velez-Pereira, A., & Camargo, Y. (2008). Comportamiento aerodinámico y viabilidad de las partículas biológicas. *RETAKVN.* , Facultad de Ingeniería - Universidad del Magdalena Volumen I .
94. Vélez-Pereira, A., Camargo, Y., & Balaguera, S. (2010). Distribución espacio-temporal de aerobacterias en el relleno sanitario palangana, santa marta (Colombia). *Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales- GIMSA. INTROPIC. Universidad del Magdalena*.
95. Velez-Pereira, A., Camargo, Y., & Henao, D. (2011). Emisiones atmosféricas de origen biológico. *Grupo de investigación Modelación de Sistemas Ambientales. Editorial de la Universidad del Magdalena*.
96. Velez-Pereira, A., Mejía, M., Salcedo, P., & Carmargo, Y. (2009). Emisiones atmosféricas de origen biológico: generalidades, impactos asociados y medidas de control de aerosoles fungi. *Revista RE TAKVN. Facultad de Ingeniería - Universidad del Magdalena*.

97. Wang, W., Ma, Y., Ma, X., Wu, F., Ma, X., An, L., & Feng, H. (2010). Seasonal variations of airborne bacteria in the Mogao Grottoes, Dunhuang, China. . *International Biodeterioration & Biodegradation* , 64.
98. Wathes, C. M. (1998). Aerial emissions from poultry production. *World's Poultry Sci. J.* , 54:241–251.
99. Yao, M., & Mainelis, G. (2007). Analysis of portable impactor performance for enumeration of viable bioaerosols. . *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 4: 514–524.
100. Zhu, H., Phelan, P., Duan, T., Raupp, G., Harindra, F., & Che, F. (2003). Experimental study of indoor and outdoor airborne bacterial concentrations in Tempe, Arizona. U.S.A. *Aerobiologia*, 201–211.

9. Anexos

ANEXO 1

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA INVESTIGACIÓN





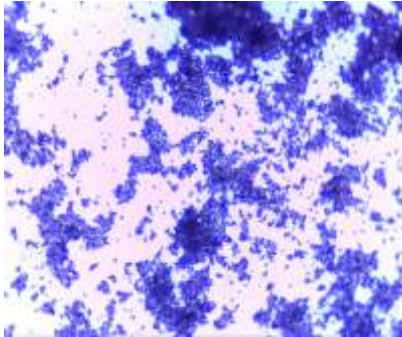
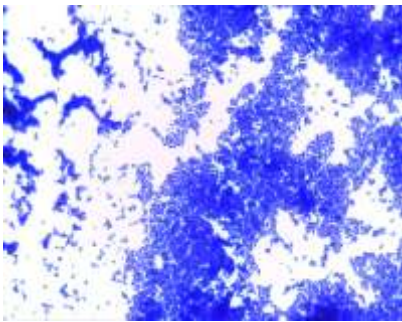
Montaje en campo para la toma de muestras.




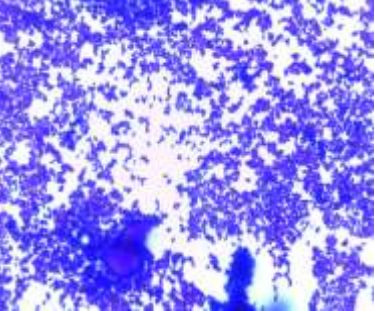

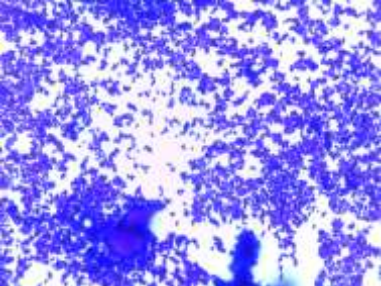



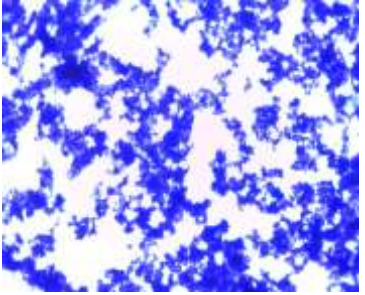

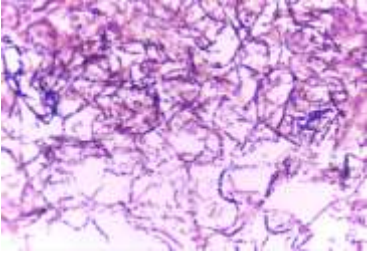

Ubicación de cajas de Petri en las etapas del impactador de cascada y registro de coordenadas y condiciones del monitoreo.

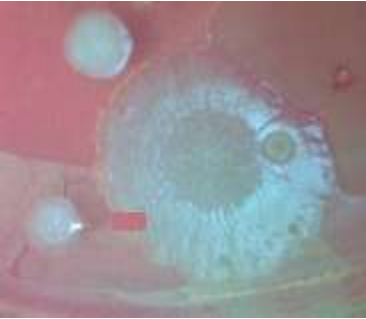
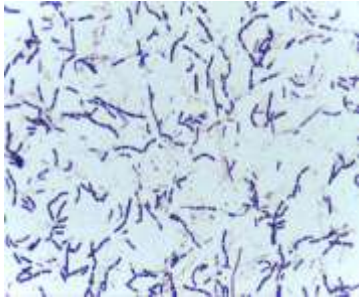
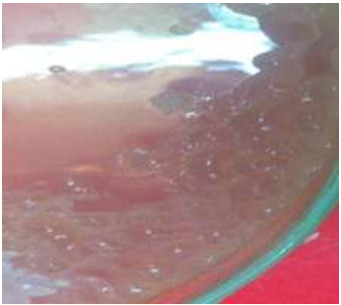
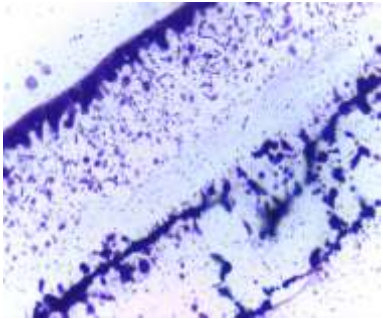

ANEXO 2


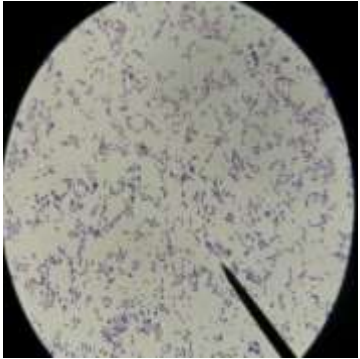

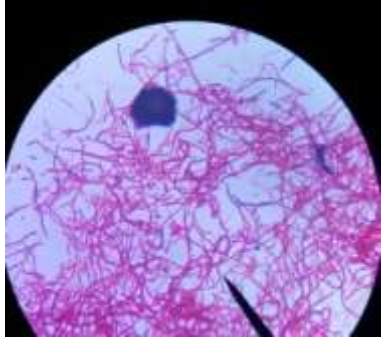
FORMATOS DE OBSERVACIÓN DE AEROBACTERIAS


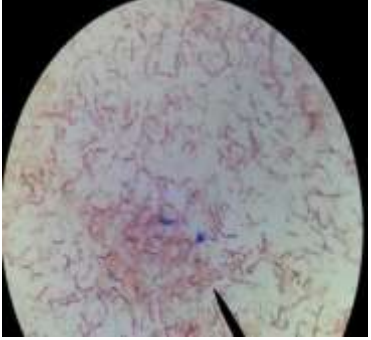

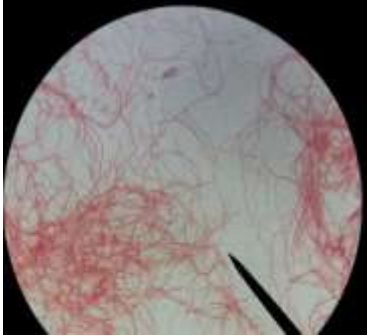

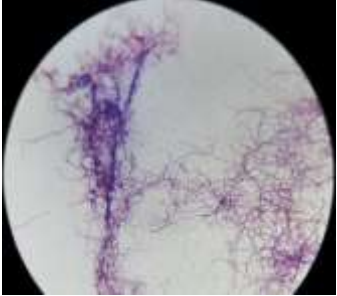
Bacterias mesofílicas (Corregimiento de Cuatro Bocas)						
SP	Características macroscópicas				Gram	Imagen macroscópica
	Color	Forma	Borde	Aspecto		
SP1	Amarilla	Convexa	No uniforme	Brillante	Streptococos Gram positivos	
SP2	Beige	Convexa	No uniforme	Flor	Streptococos Gram positivos	
						
						


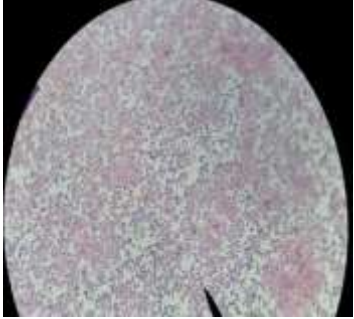

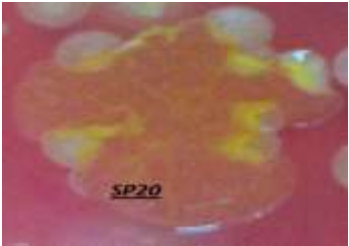
SP3	Blanca	Estrella	No uniforme	Estrella	Bacilos largos y delgados (espiroquetas) Gram negativos		
SP4	Blanca	Convexa	Uniforme	Brillante	Streptococos Gram positivos		
SP5	Naranja	Concava	Uniforme	-	Streptococos Gram positivos		

SP6	Amarilla	Convexa	No uniforme	Pequeña	Bacilos Gram positivos		
SP7	Blanca	Superficie radicular	No uniforme	Opaca	Streptobacilos Gram negativos		
SP8	Blanca	Concava	No uniforme	Brillante	Bacilos largos y delgados Gram positivos		No disponible

SP9	Blanca	Convexa	No uniforme	Brillante/Relieve	Streptobacilos Gram positivos		
SP10	Blanca	Concava	No uniforme	Viscosa/ Transparente	Streptococos Gram positivos		
SP11	Roja	Concava	No uniforme	Opaca	No disponible		No disponible
SP12	Verde	-	-	Sin forma	No disponible	No disponible	No disponible

SP13	Rosada pálida	Concava	Uniforme	Brillante	Cocos Gram positivos		
SP14	Beige	Circular	Uniforme	Brillante	Espiroquetas Gram negativas		

SP15	Beige	Extendida	-	-	Bacilos Gram positivos		
SP16	Amarilla	Circular	Opaca	Relieve	Espiroquetas Gram negativas		
SP17	Blanca	Racimo de uvas	No uniforme	Corrugado	Espiroquetas Gram positivas		

SP18	Amarilla	Centro amarillo, en relieve	Uniforme	Brillante	Cocos Gram positivos		
SP19	Transparente	Indefinida	No uniforme	Estrias	No disponible		No disponible
SP20	Amarilla y transparente	Indefinida	No uniforme	Gelatina	No disponible		No disponible

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

RESUMEN

La exposición a bioaerosoles puede perjudicar la salud humana, por causar enfermedades **alérgicas, infecciosas y respiratorias agudas**. En Colombia no existen normas que regulen la exposición a bioaerosol ya que existen escasos estudios técnicos relacionados con la generación y el comportamiento de biocontaminantes en el aire. En la presente investigación se evaluó el comportamiento de aerobacterias en el corregimiento de Cuatro Bocas. Tubará, Atlántico, para este propósito se realizaron ocho (8) campañas de monitoreo durante dos jornadas, matutina y vespertina ubicándose dos (2) estaciones de monitoreo en el corregimiento de Cuatro Bocas, localizado en las inmediaciones de un relleno sanitario. Las aerobacterias fueron colectadas sobre el agar Standard Plate Count mediante un impactador de cascada Andersen Thermo Scientific de 6 etapas, operando a 28,3 l/min durante 5 min y ubicado a 1,5 m de altura; las condiciones meteorológicas de cada campaña de monitoreo se tomaron mediante un anemómetro Kestrel Modelo 4500 ubicado a favor de la dirección del viento y a la misma altura del impactador. Al finalizar cada campaña se incubaron las bacterias recolectados a 28°C durante 48 horas y se realizó la cuantificación de las mismas. La concentración máxima de aerobacterias reportadas en la jornada de la mañana se obtuvo en la estación ubicada en la Finca #2 (866,902 UFC/m³) mientras que la menor concentración se registró durante la tarde en la Finca #1 (75,382 UFC/m³). Así mismo, se observó durante las diferentes campañas realizadas, una concentración elevada de aerobacterias Gram positivas con respecto a las Gram negativas, con altos registros en horas de la mañana. Se evidenció presencia de estreptococos y bacilos en las 6 cavidades del sistema respiratorio consideradas en todas las campañas de monitoreo, se destacan las máximas concentraciones de estreptococos (1081 UFC/m³) y de bacilos (346 UFC/m³) en los alveolos. Se empleó un modelo de regresión lineal mediante ANOVA que arrojó que las variables meteorológicas fueron estadísticamente significativas ($p=0,00$); sin embargo, sólo explicaron el **6,60%** de la variabilidad presentada por la concentración, lo cual evidenció que la interacción entre las variables no fue suficiente para mostrar un modelo de predicción de crecimiento bacteriano en el corregimiento. De acuerdo a los resultados

obtenidos, y los datos de velocidad y dirección del viento, existe una probabilidad de que las emisiones de aerobacterias generadas en el relleno sanitario afecten zonas aledañas; sin embargo, se deben realizar estudios de correlación epidemiológica para poder confirmar los riesgos sanitarios a los cuales se encuentran expuestos los habitantes del corregimiento.

Palabras claves

Aerobacterias, condiciones meteorológicas, enfermedades respiratorias agudas, impactador de cascada, ambientes outdoor.

ABSTRACT

Exposure to bioaerosols can harm human health, to cause acute allergic, infectious and respiratory diseases. In Colombia there are no rules governing bioaerosol exposure because there are few technical studies related to the generation and behavior of biofouling in the air. In this research the behavior of airborne bacteria in the village of Cuatro Bocas, Tubará, Atlantic, was evaluated; for this purpose were made eight (8) monitoring campaigns for two working days, morning and evening placing two (2) monitoring stations in the district of Cuatro Bocas, located in the vicinity of a landfill. The airborne bacteria were collected on Plate Count Standard Agar through an Andersen cascade impactor Thermo Scientific of 6 stages, operating at 28.3 L / min for 5 min and located 1.5 m; weather conditions of each monitoring campaign were taken by an anemometer Kestrel Model 4500 located pro wind direction and at the same height of the impactor. At the end of each campaign bacteria were incubated at 28 ° C for 48 hours and them, the quantification was performed. The maximum concentration of airborne bacteria reported in the morning was obtained in the station located at Farm #2 (866.902 CFU / m³) while the lowest concentration was recorded during the afternoon at Farm #1 (75.382 CFU / m³). Likewise, it was observed during the different campaigns, a high concentration of Gram-positive bacteria with respect to Gram-negative, with high records in the morning. Streptococcus and bacilli was evidenced in the 6 cavities of the respiratory system considered in all monitoring campaigns, the maximum concentrations of streptococci (1081 CFU / m³) and bacilli (346 CFU / m³) in the alveoli. Linear regression model was used by ANOVA, it showed that the

meteorological variables were statistically significant ($p = 0.00$); however, only they accounted for 6.60% of the variability presented by the concentration, which showed that the interaction between variables was not enough to show a predictive model of bacterial growth in the district. According to the results, and speed and wind direction, there is a probability that airborne bacteria emissions generated in the landfill affects surrounding areas; however, epidemiological correlation studies should be conducted to confirm health risks to which are exposed the inhabitants of the township.

Key words

Airborne bacteria, weather conditions, acute respiratory diseases, cascade impactor, outdoor conditions.